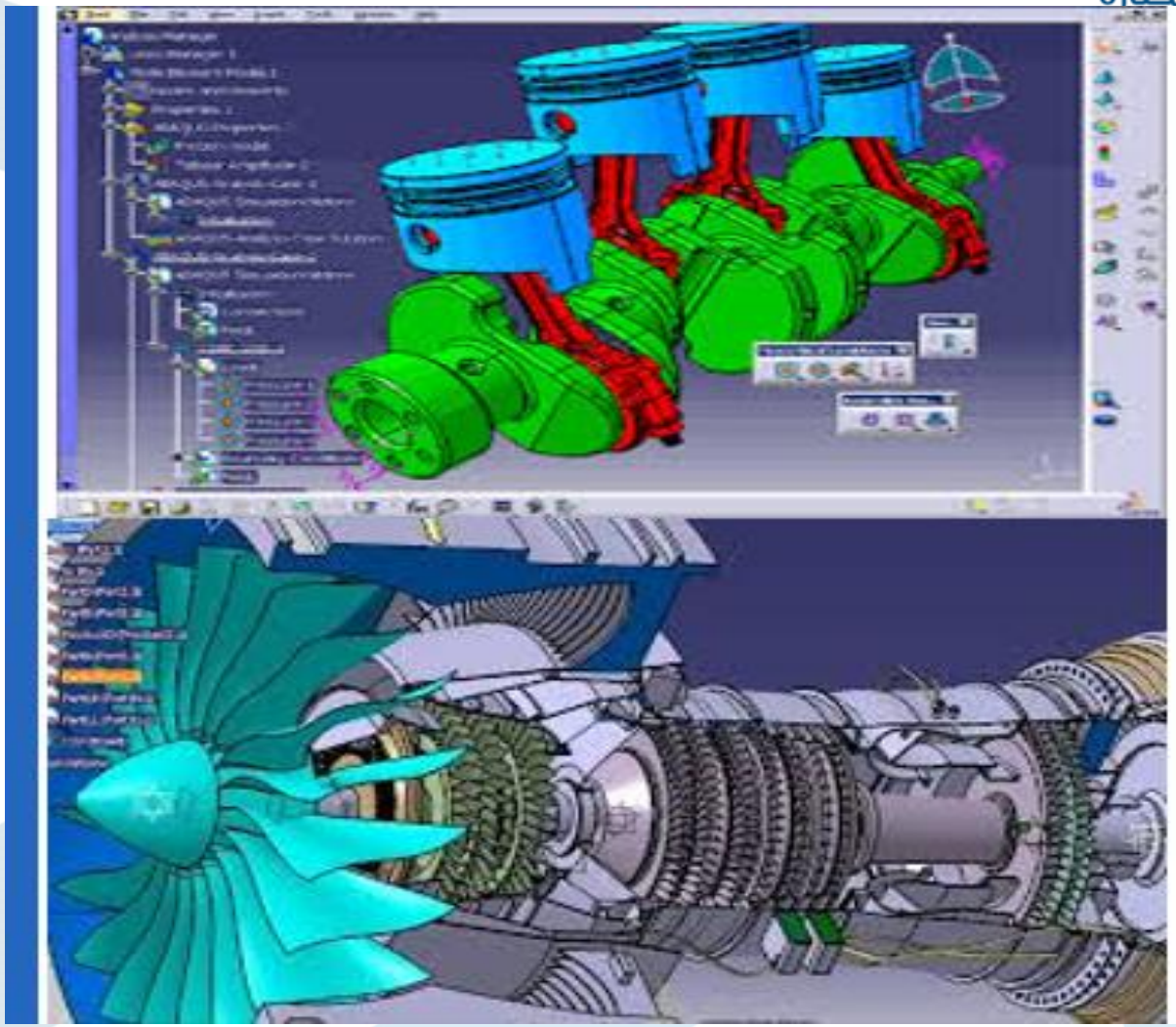
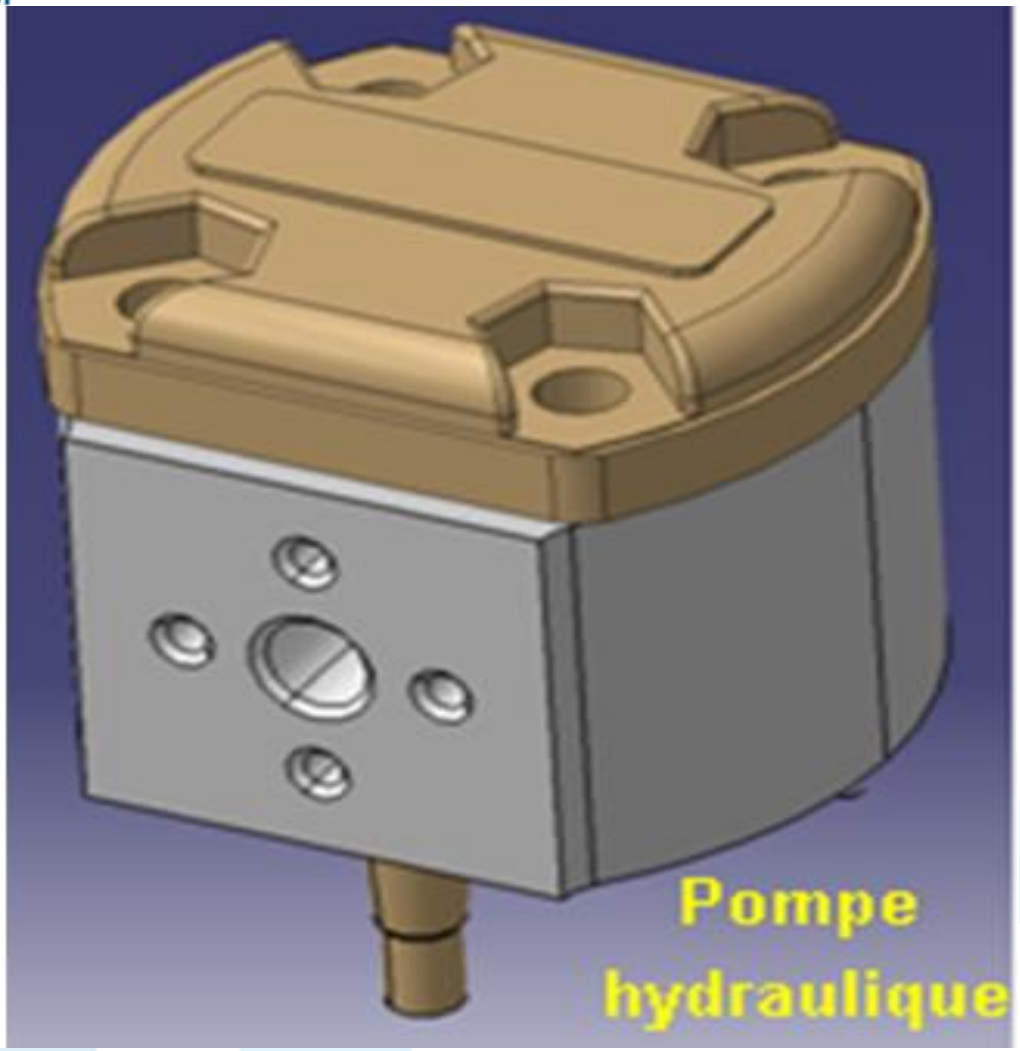


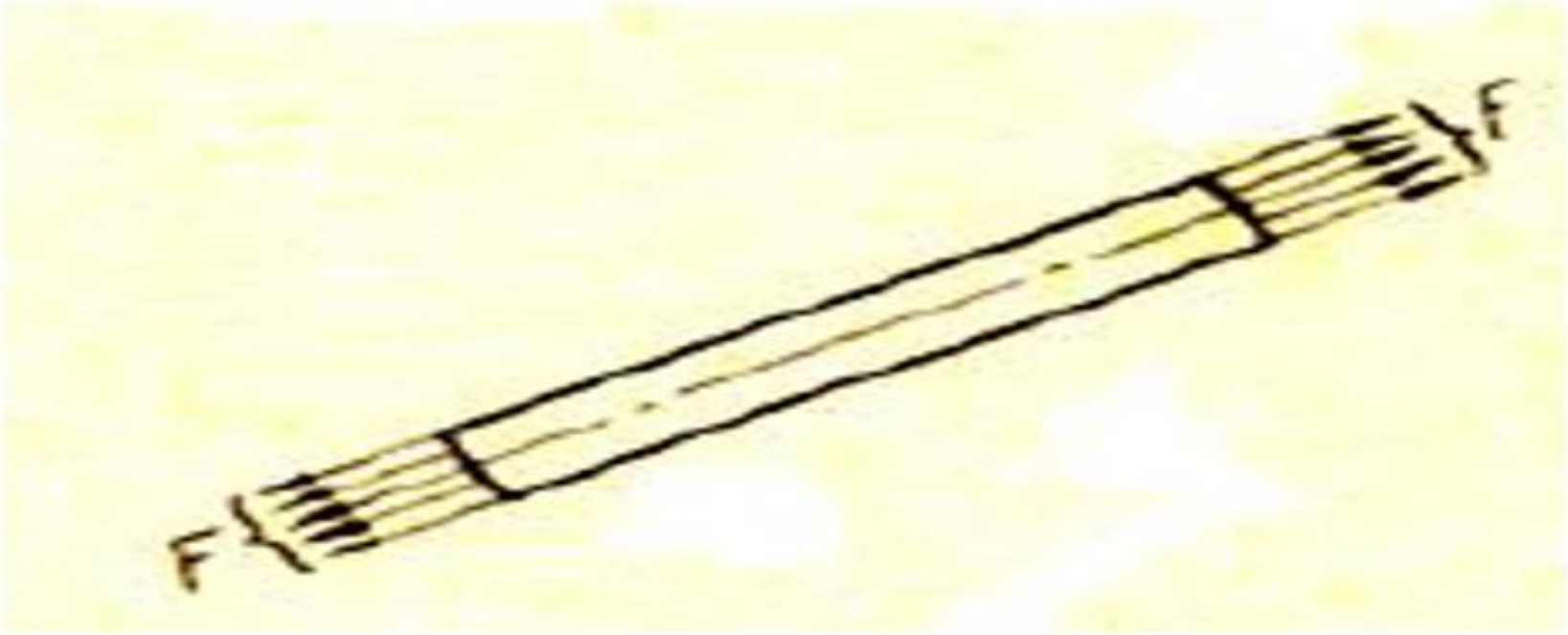

Pompe
hydraulique

الإجهادات

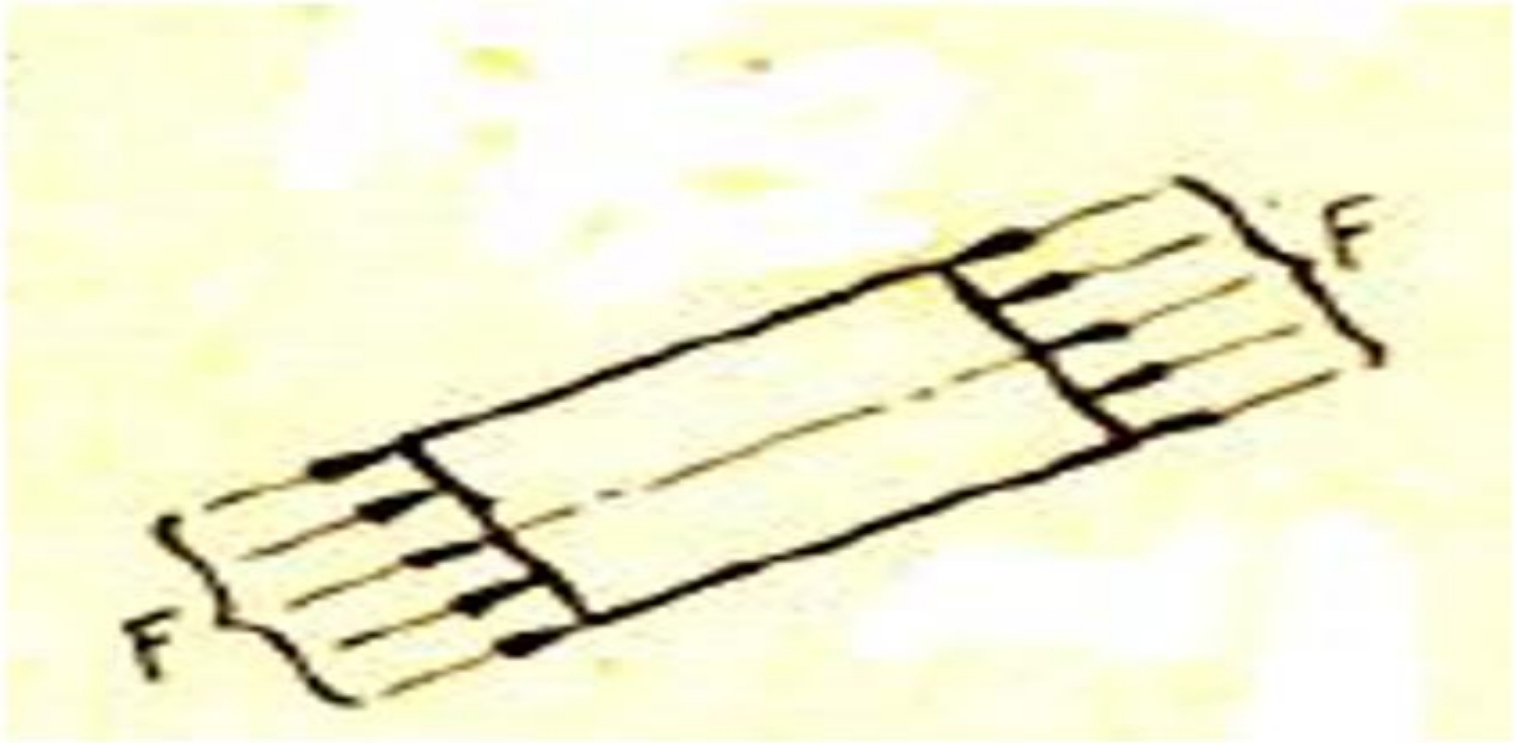
اذا اثرت قوة في جسم فإنها تسبب فيه اجهاد وبالوقت نفسه تسبب تغيرا في شكله فهو يستطيل اذا كانت قوة شد ويتقلص اذا كانت قوة ضغط

أنواع الاجهادات

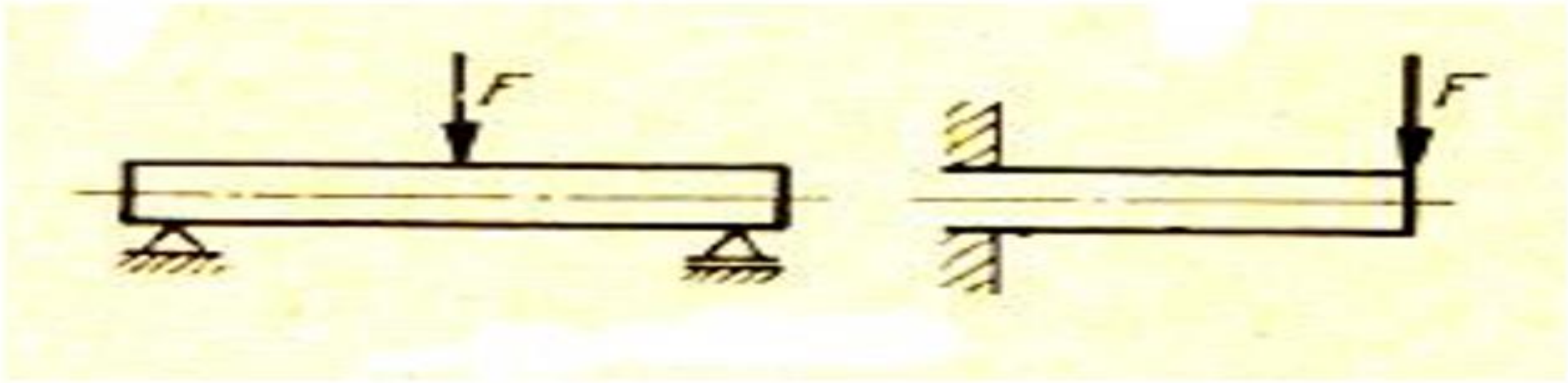
اجهاد الشد : يتسبب من قوتين متعاكستين متباعدتين تؤثران على منحى واحد . إن محصلة القوى تؤثر على امتداد محور الجائز وتسبب استطالة في الطول وتضيق في المقطع



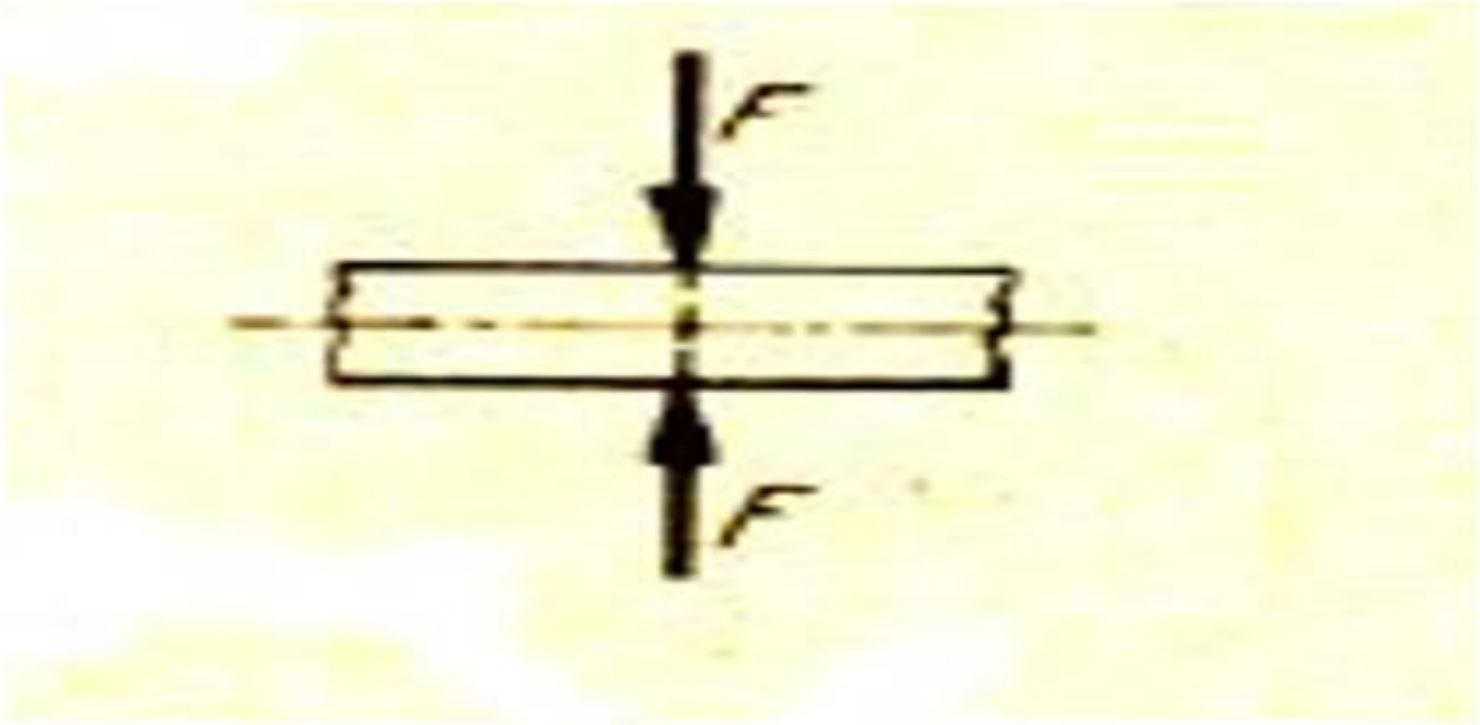
اجهاد الضغط : يتسبب من قوتين متعاكستين متقاربتين تؤثران على منحى واحد . إن محصلة القوى تؤثر على امتداد محور الجائز وتسبب تقلصا في الطول و انتفاخا في المقطع



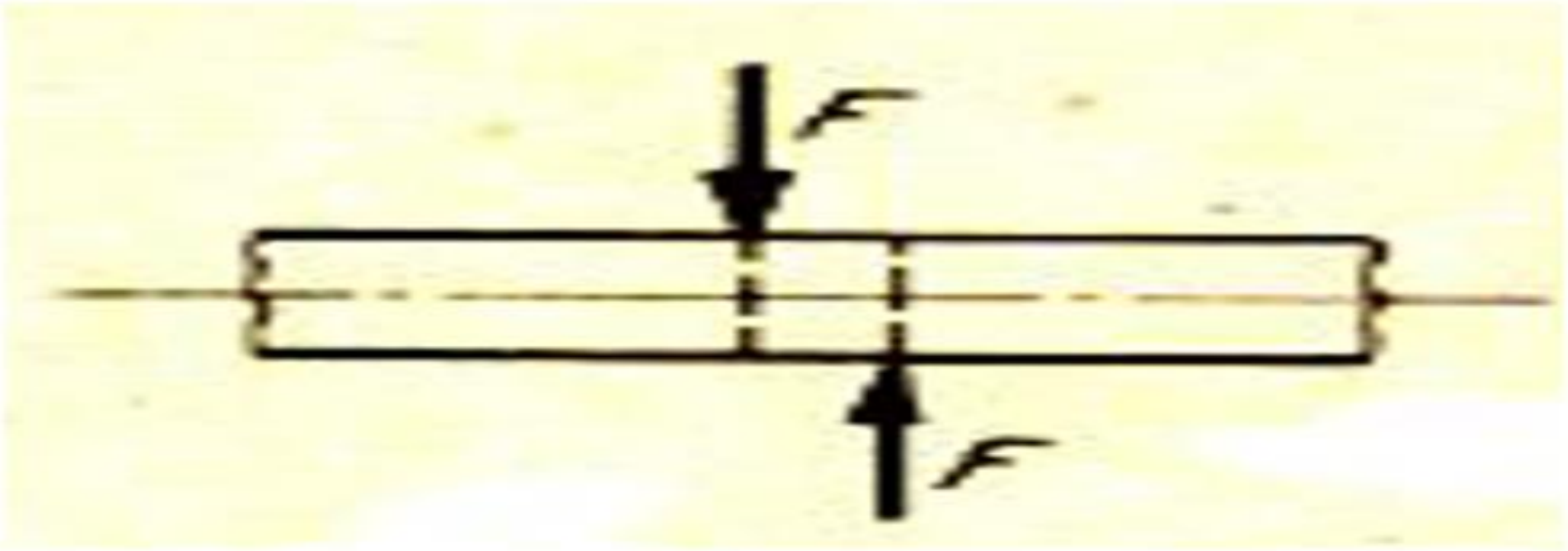
اجهاد الانعطاف : في هذا النوع من الاجهاد تؤثر القوى بشكل عرضي على محور الجائز. إن ردود أفعال نقاط الاستناد تسبب عزم الانعطاف (الانحناء)



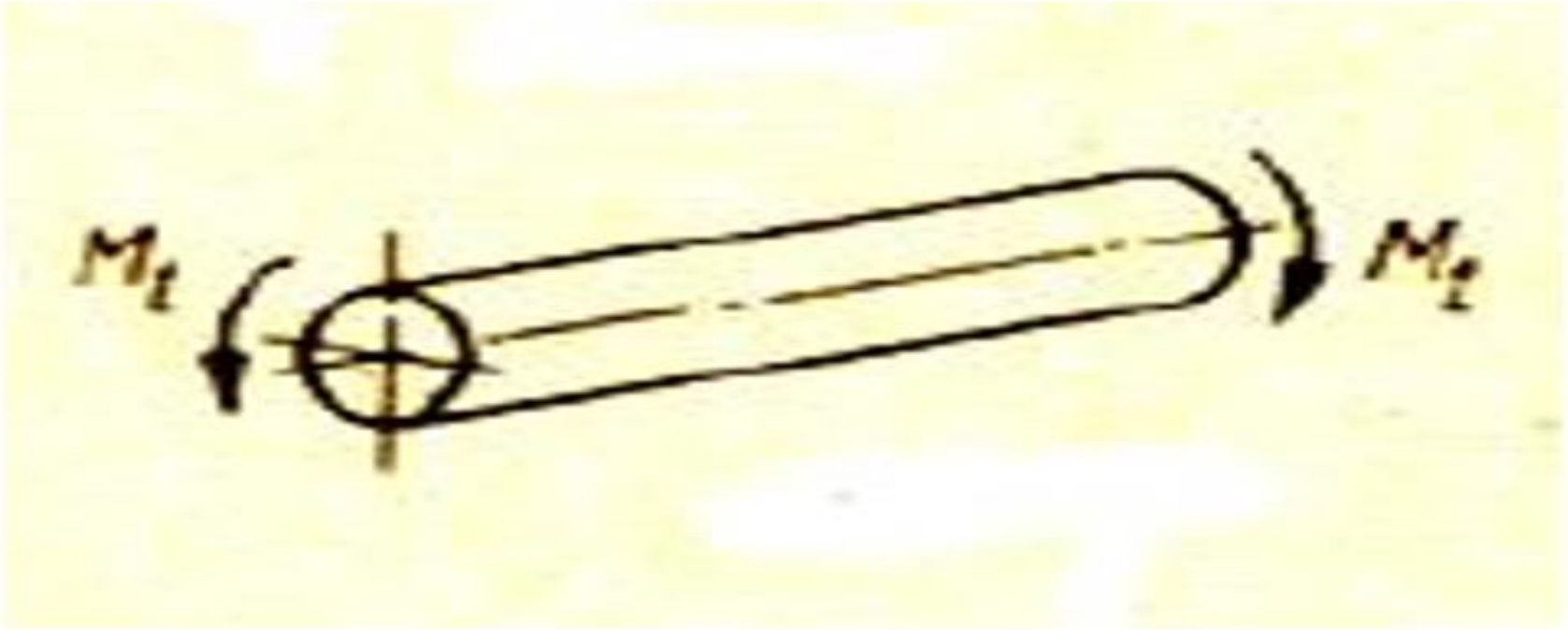
اجهاد القص : إن القوى تؤثر بشكل عمودي على محور الجائز وتؤثر على امتداد خط واحد



الاجهاد المختلط (القص و الانعطاف): هنا تؤثر قوتان عكس بعضهما البعض و تشكل مزدوجة حول محور الجائز وليس للقوتين خط واحد. لذلك تسبب عزم انعطاف إضافة الى اجهاد قص



اجهاد الفتل: ينتج عن تأثير قوتين بمستوي واحد عمودي على محور الجائز وتؤثر بعزم تدوير Mt وتسبب انحراف الالياف الخارجية على خطها الموازي للمحور



حساب الاجهادات

إجهاد الشد أو الضغط

إجهاد الانعطاف

$$\sigma_{x,d} = \frac{F}{A} \qquad (1.2)$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \qquad (2.2)$$

حيث إن:

M_b : عزم الانعطاف المؤثر على الشغلة ويقاس بـ(N.m).

W_b : عزم المقاومة للمقطع المعني. ويقاس بـ (mm^3) ويعطى بالعلاقة:

$$W_b = \frac{I}{e} \qquad (3.2)$$

حيث إن:

I : عزم عطالة السطح حول محور الانعطاف وتقاس بـ(mm^4).

e : المحور المحايد وهو المحور الذي يمر من المنتصف ويقاس بـ(mm).

إن عزم العطالة والمحور المحايد يؤخذ من جداول المقاومة.

-إجهاد القَص النَاتج عن قُوة عرضية .

$$\tau_s = \frac{F}{A} \qquad (4.2)$$

-إجهاد القَص النَاتج عن عزم فتل .

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \qquad (5.2)$$

حيث إن:

M_t : عزم الفتل المؤثر على الشغلة ويقاس بـ(N.m).

W_t : عزم المقاومة للمقطع في حالة الفتل ،ويقاس بـ (mm^3) ويعطى بالعلاقة:

$$W_t = \frac{I_p}{r} \qquad (6.2)$$

حيث إن:

I_p : عزم عطالة السطح القطبي وتقاس بـ(mm^4).

r : نصف القطر ويقاس بـ(mm) .

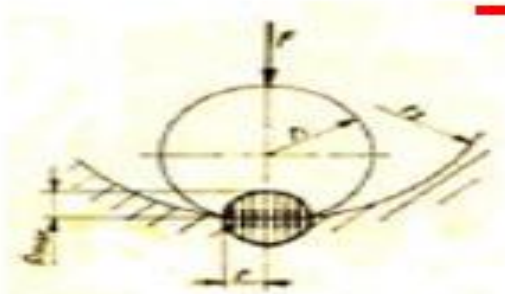
إن عزم العطالة والمحور المحايد يؤخذان من جداول مقاومة المواد.

الرمز (z) يرمز الى الشد والرمز (d) الى لضغط والرمز (b) الى الانعطاف والرمز (t) الى القص و الرمز (s) الى القص .

إن عامل الأمان هو حاصل قسمة القيمة المسموح به ا للإجهاد المتكون بالمادة و القيمة الحقيقية للإجهاد الموجود في الجسم ويرمز له بالرمز (υ) و يؤخذ كقيمة تتراوح بين (1.3 و 2) أما عامل أمان الكسر فيؤخذ من نسبة إجهاد الكسر لمعدن القضيب الى الإجهاد المتكون فيه ويرمز له بالرمز (υ_b) وتتراوح قيمته من (2...إلى 3).

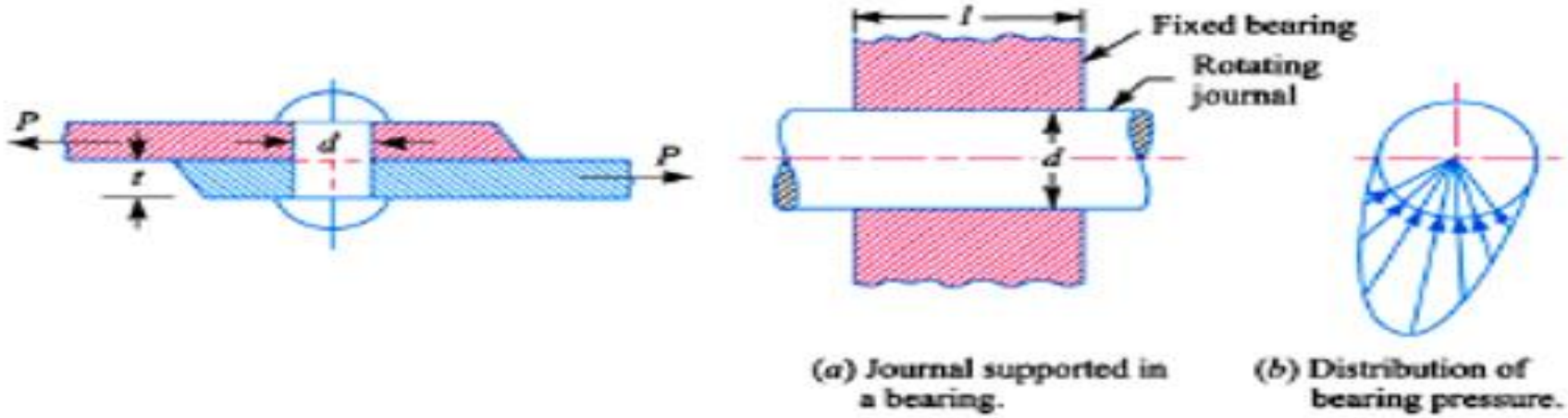
- إجهاد الهصر :

في حالة نقل القوى بواسطة العناصر المتماسة ، كما في المسننات، فإنه ينتج إجهاد هصر في منطقة التلامس الشكل (2–5).



(5.2)إجهاد الهصر في كرة داخل كرة مفرغة

وأهم ظهور لإجهاد الهصر هو في البراشيم والمحامل الانزلاقية أو الكروية حسب ما يبينه الشكل(2–6). ويحسب إجهاد الهصر من حاصل قسمة القوة على السطح المسقط على مستوي تأثير القوة ، ويسمى أيضا توزيع الضغط على السطح والذي يأخذ قيمة عظمى كما في المحامل :



(a) Journal supported in a bearing. (b) Distribution of bearing pressure.

الشكل (2–6): اجهاد الهصر في البراشيم (الصورة اليسارية) وفي المحامل(الصورة اليمينية)

ويحسب إجهاد الهصر من العلاقة:

$$\sigma_c = \frac{P}{d\,t} \qquad (7-2)$$

بالنسبة الى البراشيم

$$\sigma_c = \frac{P}{d.l} \qquad (8-2)$$

بالنسبة الى المحاور

حيث إن:

σ_c:اجهاد الهصر ويقاس بـ (Mpa).

P: القوة المؤثرة والمتعامدة على السطح وتقاس بالنيوتن(N)

d: قطر البرشام او المحور ويقاس بـ (mm).

t:سماكة الصفيحة وتقاس ب (mm)

l: طول المحور المتواجد في حقل التأثير ويقاس بـ (mm)

إجهاد التحنيب وعامل الاستقرار

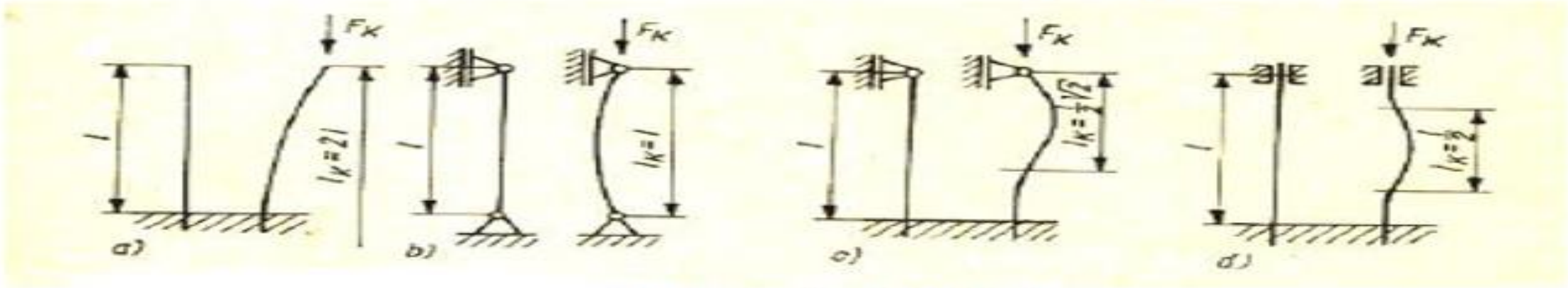
عندما يكون الجائز رفيعاً وطويلاً ويحمل تحميلاً طولياً وعندما تبلغ القوة حدا معينا فان القضيب ينحني كما في الشكل(7.2) وتسمى هذه الظاهرة (التحنيب)،حيث يتشوه الجائز بشكل كبير و تتشكل فيه إجهادات انعطاف. .إن حساب حمولة التحنيب تتعلق بالنسبة الى طول القضيب وإلى أصغر نصف قطر العطالة وتسمى "عامل التحنيب " أو درجة النحافة ويرمز له بالرمز (λ):

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \qquad (9.2)$$

حيث إن:

l_k : طول الجزء العامل من الجائز .

i : نصف قطر العطالة الأصغري .



الشكل(7.2) :التحنيب في قضيب

a: التثبيت من طرف واحد.

b: التثبيت من طرفين.

c: طرف مثبت بإحكام والطرف الآخر مستند على مفصل متحرك .

d: طرف مثبت بإحكام والطرف الآخر حر في دليل.

إن (λ) متعلق بنوع المعدن وقد وضع العالم (Euler) قيما وذلك في حالة التحميل المرن وفيما يلي قيم عامل التحنيب لبعض أنواع الفولاذ.

λ>100 St38.

λ>93 St60.

λ>60 فولاذ نوابض.

λ>80 حديد صب (GG).

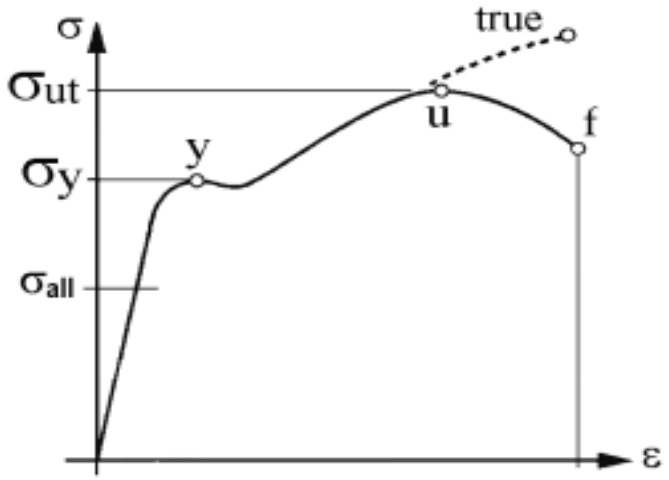
λ>59 برونز.

λ>100 خشب إبري.

عندما تكون درجة النحافة (λ) أقل من (20) تهمل حسابات التحنيب.

تصميم العناصر الخاضعة للحمولات الساكنة

الإجهاد المسموح به



في مجال التصميم ولضمان عدم حدوث الانهيار يجب على الإجهاد الأعظمي أو المكافئ عدم تجاوز قيمته الحديّة المقابلة لحدوث الانهيار، وغالباً لا يتم التصميم على القيمة الحديّة وإنّما على قيمة أقل بحيث يُترك هامش أمان لاعتبارات عديدة مثل تلافي خطورة التحميل الزائد، عدم الدقّة في تحديد الحمولات، عدم الثقة في خواص المادة المستعملة، درجة خطورة القطعة على الحياة البشريّة... وهذه القيمة الأقل تُعرف بالإجهاد المسموح σ_{all} , τ_{all} الذي يُحسب عند تصميم المواد المطيليّة مع اعتبار أنّ الخضوع هو معيار الانهيار وفق:

$$\sigma_y = (0.5-0.7)\sigma_u \qquad \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s}, \quad \tau_{all} = \frac{\tau_y}{f.s} \qquad \boxed{\tau_y = \frac{\sigma_y}{2}}$$

حيث f.s عامل أمان التصميم، σ_y, τ_y إجهادي الخضوع على الشد والقص للمادّة المطيليّة.

عند استخدام تجربة الشد البسيط لتعيين إجهاد الخضوع يكون $\tau_y = \frac{\sigma_y}{2}$

النقطة الخطرة والمقطع الخطر ومعادلات التصميم

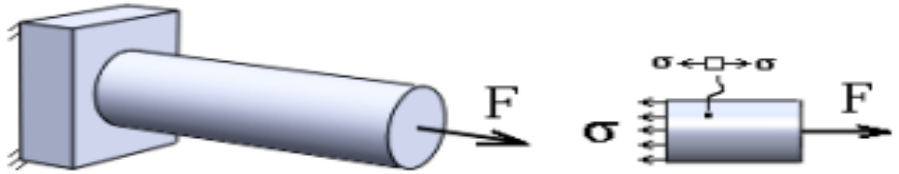
النقطة الخطرة بالتعريف هي النقطة من الجسم التي تتعرض لأكبر إجهاد والمقطع الخطر هو المقطع من الجسم الذي يحتوي النقطة الخطرة ويتم تحديد كل من المقطع الخطر والنقطة الخطرة وفقاً للحمولة المطبقة والشكل الهندسي للجسم كما سيرد تفصيله لاحقاً. تتم عملية التصميم بحساب الإجهاد في النقطة الخطرة بدلالة الحمولة وأبعاد المقطع الخطر وأبعاد الجسم ثمّ المساواة بين الإجهاد في النقطة الخطرة والإجهاد المسموح به وفق:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s}, \qquad \tau_{\max} = \tau_{all} = \frac{\tau_y}{f.s}$$

الإجهادات في حالات التحميل البسيطة

في هذه الحالات يكون مصدر الإجهادات في النقطة الخطرة وحيد أو متماثل.

1- قوّة محورية (شد أو ضغط):



يتوزع الإجهاد بشكل منتظم على كامل المقطع والنقطة الخطرة هي أي نقطة ويحسب الإجهاد في أي نقطة من المقطع وفق:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

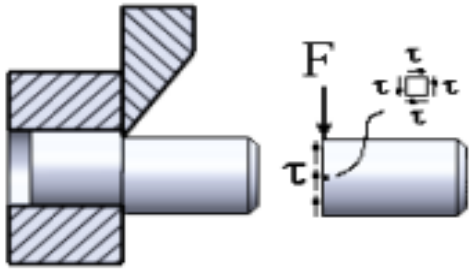
من أجل مقطع دائري مصمت قطره d:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2}$$

من اجل مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي d_o وقطر داخلي d_i:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi (d_o^2 - d_i^2)} = \frac{4F}{\pi d_o^2 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^2\right]}$$

2- قوّة قص مباشر

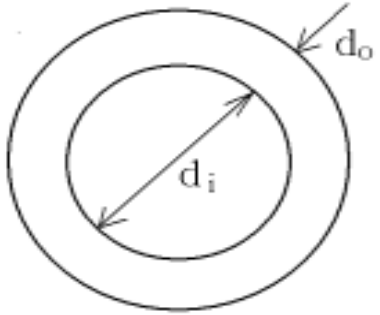


يتوزع الإجهاد بشكل منتظم على كامل المقطع والنقطة الخطرة هي أي نقطة ويحسب الإجهاد في أي نقطة من المقطع وفق:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

من أجل مقطع دائري مصمت قطره d:

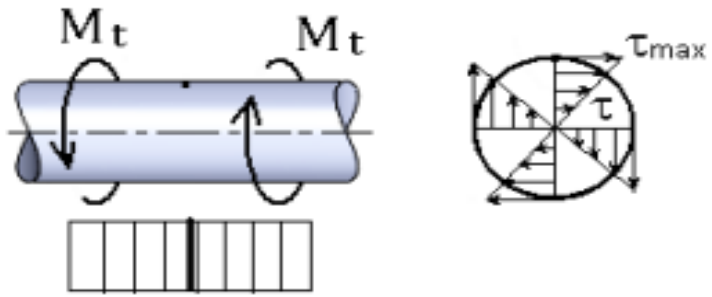
$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2}$$



من أجل مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي d_o وقطر داخلي d_i:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi (d_o^2 - d_i^2)} = \frac{4F}{\pi d_o^2 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^2\right]}$$

3- فتل المقاطع الدائرية



ينتج إجهاد مماسي (قص) يتوزع في المقطع الدائري كما هو مبيّن في الشكل ويُحسب في نقطة ما من أحد المقاطع المفتولة بالصيغة التالية:

$$\tau = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t.r}{J}$$

حيث: M_t يمثل عزم الفتل على المقطع الذي يحتوي النقطة التي يُطلب حساب الإجهاد فيها ويتم إيجاد قيمته من مخطط عزم الفتل.

r نصف القطر الواصل من مركز المقطع حتى نقطة حساب الإجهاد.

J عزم العطالة القطبي للمقطع المدروس.

الإجهاد الأعظمي من الفتل في مقطع دائري مصمت قطره d:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t \cdot r_{\max}}{J} = \frac{M_t \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16 M_t}{\pi d^3}$$

الإجهاد الأعظمي من الفتل في مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي d_o وقطر داخلي d_i::

$$\tau_{\max} = \ldots = \ldots = \frac{16M_t}{\pi d_o^3\left[1-\left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]}$$

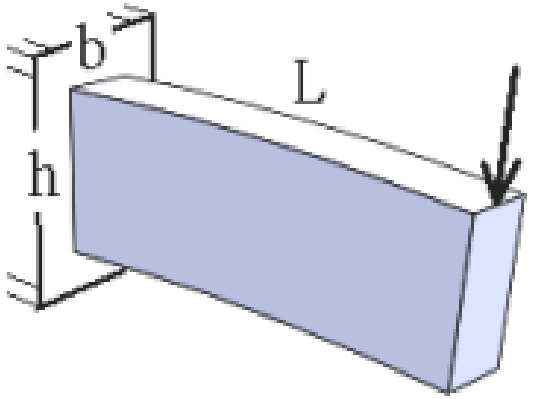
4- فتل المقاطع غير الدائرية

تعتبر المقاطع الدائرية هي الأنسب لتحمّل الفتل غير أنّه في بعض الحالات ولضرورات تصميمية يمكن استعمال مقاطع غير دائرية وعند فتل المقاطع غير الدائرية لا تبقى المقاطع مستوية والخطوط القطرية لا تبقى مستقيمة وتوزّع الإجهادات ليس بالضرورة أن يبقى خطيّاً غير أنّ الإجهاد الأعظمي يتوضّع على محيط أكبر دائرة يحتويها المقطع ويُحسب بالصيغة التالية:

$$\tau = \frac{T}{W_T}$$

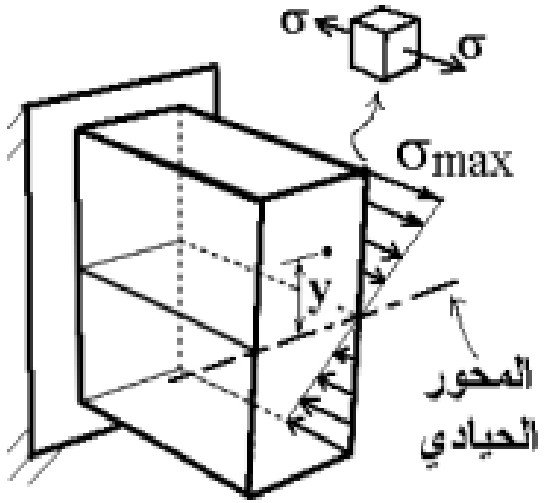
حيث W_T يمثل مقاومة المقطع للفتل وهو تابع لشكل المقطع يتم إيجاده من جداول حسب شكل المقطع.

5- الانحناء في جائز مستقيم



لتعيين الإجهادات في الجوائز المعرّضة للانحناء يجب أولاً رسم مخططات القوى الداخليّة (مخطط عزم الانحناء ومخطط القوى القاصة) وتدل هذه المخططات أنّه يتولّد في نقاط الجائز نوعين من الإجهادات ناظميّة ومماسيّة.

إجهادات ناظمية



سببها تقوّس الجائز حيث ينقسم الجائز إلى قسمين بواسطة المستوي الحيادي في أحدهما يحدث تمدّد للألياف (شد) وفي الآخر يحدث التقلّص (ضغط) وتُحسب قيمة الإجهاد الناظمي في نقطة من الجائز بالصيغة التالية:

$$\sigma = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b \cdot y}{I}$$

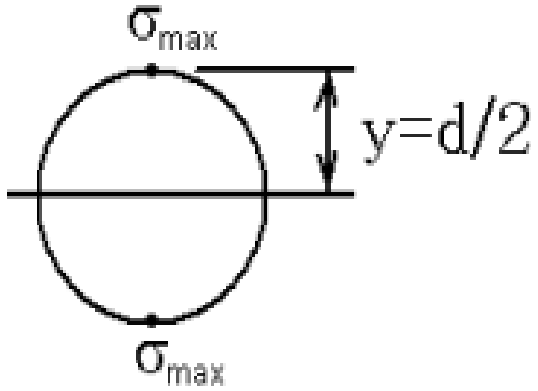
حيث: M_b يمثل الانحناء على المقطع الذي يحتوي النقطة ويتم تقدير قيمته من مخطط عزم الانحناء.

y بعد نقطة حساب الإجهاد عن المحور الحيادي للمقطع.

I عزم عطالة المقطع المدروس حول المحور الحيادي.

- **ملاحظة 1:** المحور الحيادي هو الفصل المشترك بين المستوي الحيادي للجائز ومستوي المقطع وهو يمر من مركز المقطع ويفصل بين منطقة الشد ومنطقة الضغط في المقطع المدروس.
- **ملاحظة 2:** تتوضع الإجهادات الناظميّة العظمى في نقاط المقطع الأبعد عن المحور الحيادي.

الإجهاد الأعظمي من الانحناء في مقطع دائري مصمت قطره d:

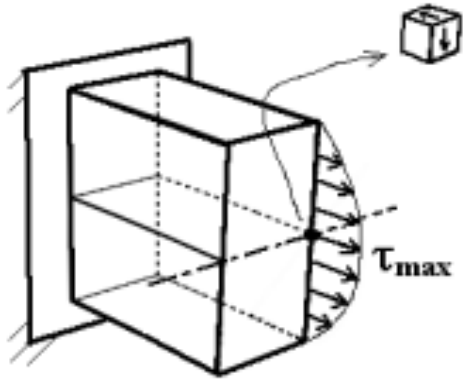


$$\sigma_{\max} = \frac{M_b \cdot y_{\max}}{I} = \frac{M_b \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{32 M_b}{\pi d^3}$$

الإجهاد الأعظمي من الانحناء في مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي d_o وقطر داخلي d_i

$$\sigma_{\max} = \ldots = \ldots = \frac{32M_b}{\pi d_o^3\left[1-\left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]}$$

إجهادات مماسية



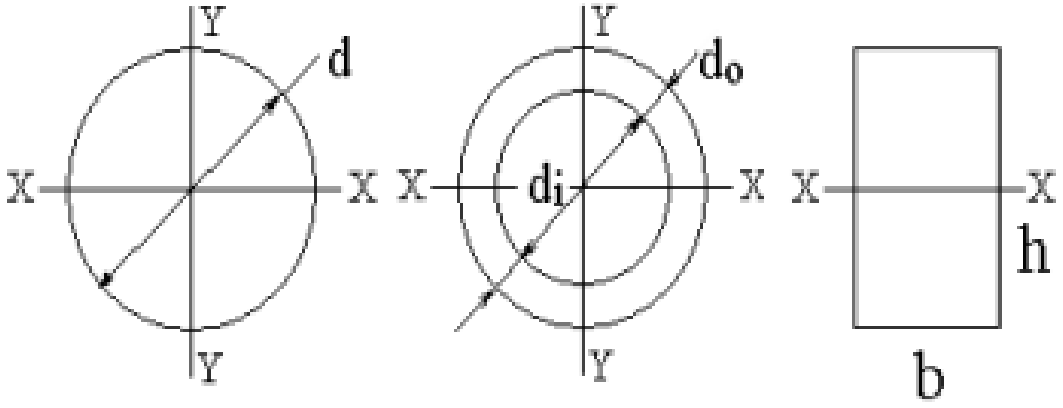
سببها محاولة انزلاق طبقات الجائز على بعضها بسبب التغيّر في طول هذه الطبقات، يتوزع هذا الإجهاد حسب شكل المقطع بحيث يكون أعظمي في نقاط المحور المحايد ومعدوم في النقاط العلويّة والسفليّة، كما هو مبيّن في الشكل.

تحسب القيمة الأعظميّة لإجهاد القص وفق:

$$\tau = \beta\frac{F}{A}$$

حيث : $\beta = \frac{3}{2}$ للمقطع المستطيل و $\beta = \frac{4}{3}$ للمقطع الدائري المصمت و $\beta = 2$ للمقطع الدائري المفرغ الرقيق.

- **ملاحظة 3:** يُلاحظ عدم توافق القيم العظمى للإجهادين σ, τ في نفس النقطة وبالتالي يتم التصميم على أحدهما فقط بحيث عندما تكون نسبة طول الجائز إلى سماكته $(L/h)>10$ يتم التصميم فقط على σ لأنه الأخطر، بينما يجب التحقق من المتانة على σ و τ كلاً بمفرده عندما $(L/h)\leq 10$.
- **ملاحظة 4:** يتطلب حساب الإجهادات الناظميّة معرفة الخواص الهندسيّة لمقطع الجائز ونبين فيما يلي عزوم العطالة لبعض المقاطع الشهيرة.



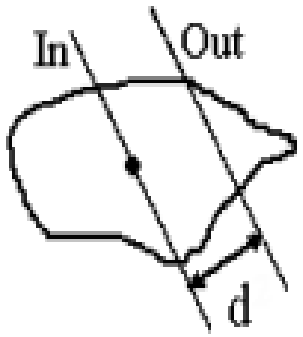
- دائرة مصمتة $J=\frac{\pi.d^4}{32}$, $I_{XX}=I_{YY}=\frac{\pi.d^4}{64}$

- دائرة مفرغة $J = \frac{\pi}{32}\left(d_o^4 - d_i^4\right)$ $I_{XX} = I_{YY} = \frac{\pi}{64}\left(d_o^4 - d_i^4\right)$

- مستطيل مصمت $I_{XX} = \frac{b.h^3}{12}$

- **ملاحظة 5:** يتم حساب عزم العطالة لشكل مركّب بحساب عزوم العطالة لكل من أجزائه بشكل منفرد ثم إجراء التحصيل الجبري جمعاً أو طرحاً.

- **ملاحظة 6:** لحساب عزم العطالة لأحد المقاطع حول محور لا يمر من مركز المقطع بمعرفة عزم العطالة حول المحور المار من مركز المقطع والذي يوازيه نطبّق نظرية شتاينر:

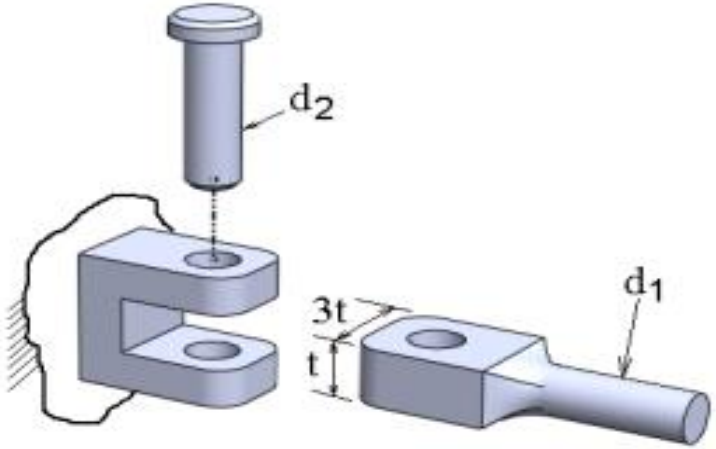


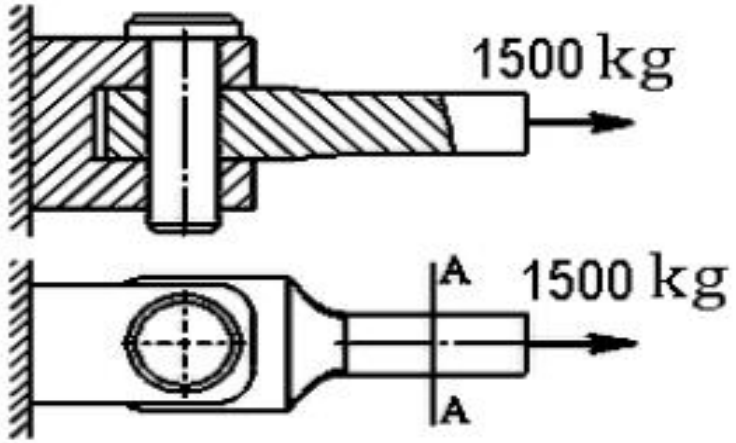
$$I_{OUT} = I_{IN} + A.d^2$$

حيث A مساحة المقطع

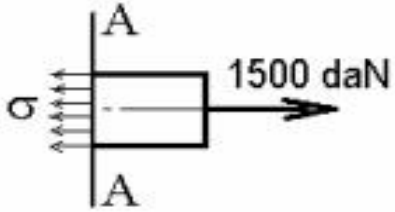
مسألة في وصلة المفصلة المبيّنة في الشّكل

1- احسب: قطر ذراع المفصلة في المقطع A-A ، قطر محور المفصلة d ،البعد t لمقطع ذراع المفصلة عند محور الثقب؟ مادّة التصنيع St_{42} وعامل الأمان f.s=2





الحل



1- حساب d1: يخضع ذراع المفصلة إلى إجهاد شد متساوي في جميع نقاط المقطع الواحد كما في الشكل وعلى اعتبار أنّ مقطعه دائري يتم التصميم وفق:

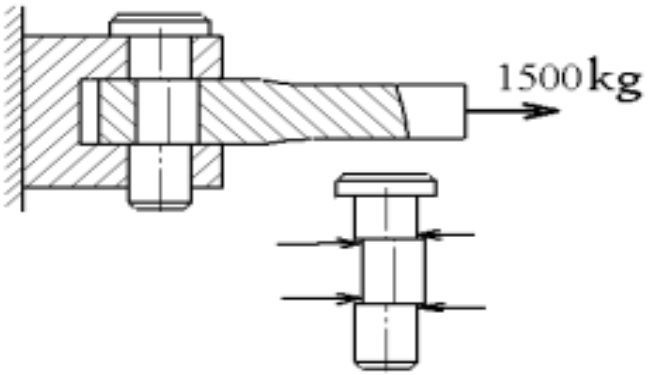
$$\sigma = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{\sigma_Y}{f.s}$$

$$St_{42} \Rightarrow \sigma_u = 42\ \mathrm{kg/mm^2}$$

$$\sigma_y = (0.5-0.7)\sigma_u \Rightarrow \sigma_y = 21\ \text{kg/mm}^2$$

$$\frac{4\times 1500}{\pi d^2} = \frac{21}{2} \Rightarrow d_1 = 13.49\ \text{mm}$$

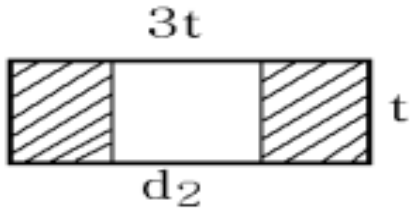
نختار للتصنيع $d_1 = 14\ \text{mm}$

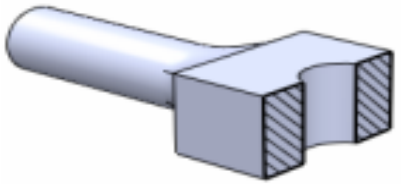


- حساب d2: يخضع محور المفصلة بإهمال الخلوصات إلى القص المباشر في مستويين كما في الشكل وعلى اعتبار أنّ مقطعه دائري يتم التصميم وفق:

$$\tau = \tau_{all} \Rightarrow \frac{F}{2\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\tau_y}{f.s} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

$$\frac{4\times 1500}{2\pi d^2} = \frac{10.5}{2} \Rightarrow d_2 = 13.49\ \text{mm} \Rightarrow d_2 = 14\ \text{mm}$$

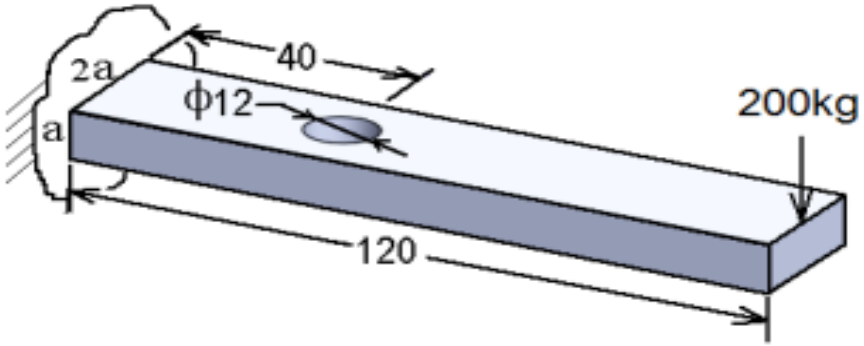




- حساب t: يخضع مقطع ذراع المفصلة عند الثقب إلى إجهاد شد متساوي على مساحة المقطع المبيّنة في الشكل والتصميم يتم وفق:

$$\sigma = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{F}{3t\cdot t - 14\cdot t} = \frac{\sigma_y}{f.s} \qquad \frac{1500}{3t^2 - 14t} = \frac{21}{2} \Rightarrow t = 9.62\ \text{mm}$$

مسألة جائز موثوق مقطعه مستطيل يحتوي على ثقب نافذ كما في الشكل ويخضع للحمولة المبيّنة.المطلوب حساب البعد a لمقطع الجائز في أخطر مقطع علماً أنّ إجهاد الخضوع لمادّة الجائز $\sigma_y = 20\ \text{kg/mm}^2$ وعامل الأمان f.s=1.5

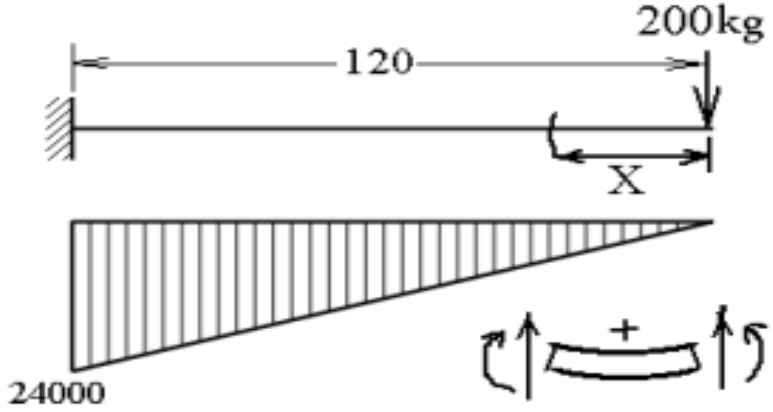


الحل

يخضع الجائز إلى الانحناء ويُصمم مقطعه الخطر على الإجهاد σ وفق:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \sigma_{all}$$

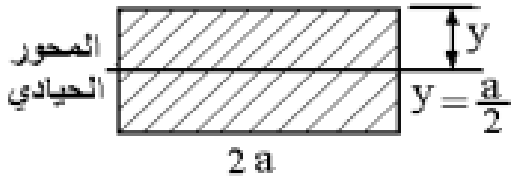
نحدّد أولاً قيم عزوم الانحناء المؤثّرة على مقاطع الجائز عن طريق رسم مخطط عزم الانحناء، يعتمد رسم مخطّط عزم الانحناء على دراسة العزم الداخلي في المقاطع مع اصطلاح جهة التقوّس المبيّنة على الشكل.



$$M = -200X \begin{cases} X = 0 \Rightarrow M_1 = 0 \\ X = 120 \Rightarrow M_1 = -24000 \end{cases}$$

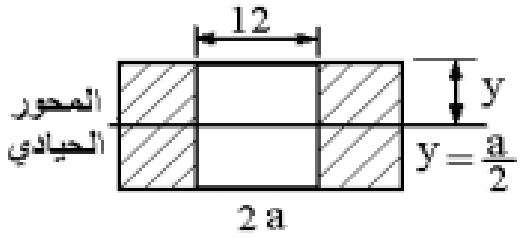
يجب دراسة المقطعين: عند الوثاقة حيث القيمة الأكبر لعزم الانحناء وعند مقطع وجود الثقب حيث يوجد نقص في مساحة المقطع.

- مقطع الوثاقة:



$$\left.\begin{aligned} M_b &= 24000\ \text{kg.mm} \\ y &= \frac{a}{2} \\ I &= \frac{2a.a^3}{12} = \frac{a^4}{6} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{24000 \cdot \dfrac{a}{2}}{\dfrac{a^4}{6}} = \dfrac{20}{1.5} \\ \Rightarrow a = 17.54\ \text{mm} \end{cases}$$

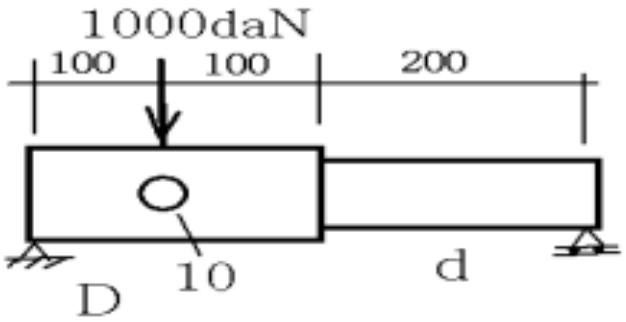
- مقطع وجود الثقب:

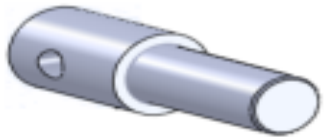


$$\left.\begin{aligned} M_b &= 16000\ \text{kg.mm} \\ y &= \frac{a}{2} \\ I &= \frac{2a \cdot a^3}{12} - \frac{12 \cdot a^3}{12} = \frac{a^3}{12}(2a-12) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{16000 \cdot \dfrac{a}{2}}{\dfrac{a^3}{12}(2a-12)} = \dfrac{20}{1.5} \\ \Rightarrow a = 17.6\ \text{mm} \end{cases}$$

نلاحظ أنّ المقطع عند الثقب أخطر لأنّه يحتاج لبُعد أكبر ونختار للجائز a=18mm

مسألة



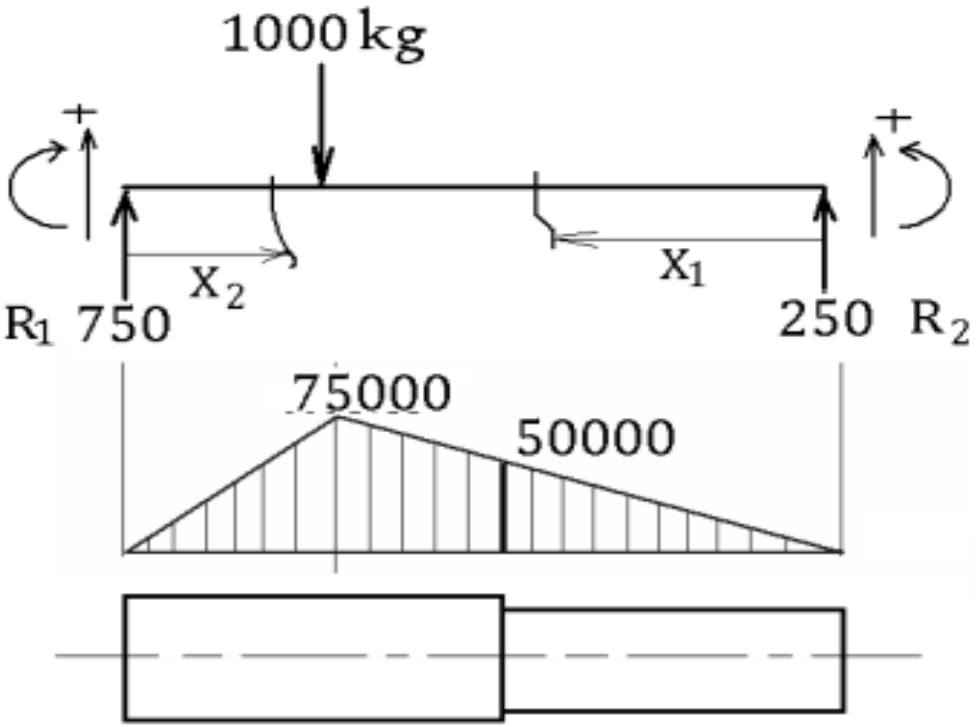


احسب القطر لكل من جزئي المحور المبين.

$\sigma_y = 20\ kg/mm^2$ وعامل الأمان f.s=1.5

الحل

يخضع المحور للانحناء ونوجد قيمة الانحناء على المقطع الخطر لكل من الجزئين برسم مخطط الانحناء



$$\sum M_1 = 0 \Rightarrow -1000 \times 100 + R_2 \times 400 = 0$$

$$\Rightarrow R_1 = 250daN$$

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_1 - 1000 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow R_2 = 750daN$$

$$M_1 = +250X_1 \begin{cases} X_1 = 0 \Rightarrow M_1 = 0 \\ X_1 = 300 \Rightarrow M_1 = 75000 \end{cases}$$

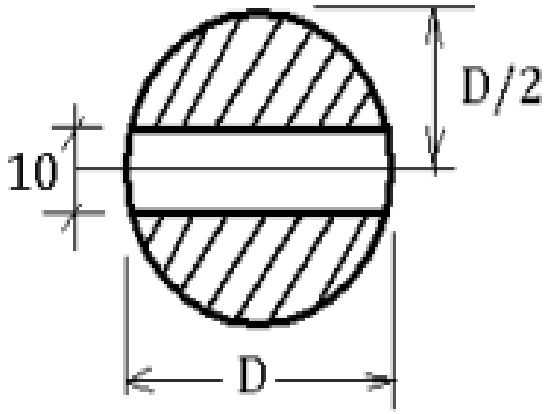
$$M_2 = +750X_2 \begin{cases} X_2 = 0 \Rightarrow M_2 = 0 \\ X_2 = 100 \Rightarrow M_2 = 75000 \end{cases}$$

حساب d: يخضع المقطع الخطر في هذا الجزء لعزم انحناء قيمته 50000 kg.mm والتصميم وفق:

$$\sigma = \frac{32\,M_b}{\pi d^3} = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{32 \times 50000}{\pi d^3} = \frac{20}{1.5} \Rightarrow d = 33.67\ \text{mm} \Rightarrow d = 34\ \text{mm}$$

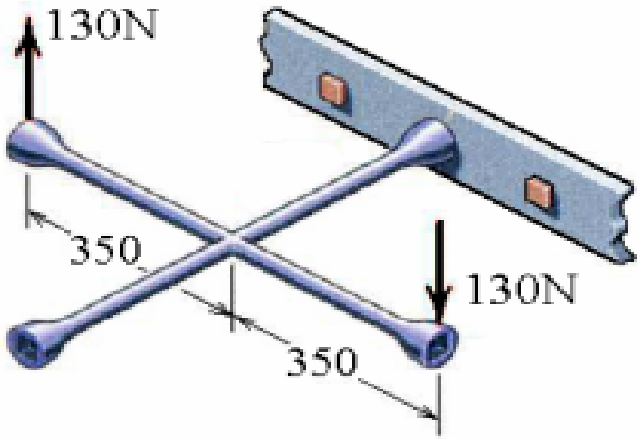
حساب D: يخضع المقطع الخطر في هذا الجزء لعزم انحناء قيمته 75000 kg.mm والتصميم وفق:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \sigma_{all}$$



$$\left.\begin{aligned} M_b &= 75000\ \text{kg.mm} \\ y &= \frac{D}{2} \\ I &= \frac{\pi D^4}{64} - \frac{D \cdot 10^3}{12} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{aligned} &\frac{75000 \cdot \frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4}{64} - \frac{D \cdot 10^3}{12}} = \frac{20}{1.5} \\ &\Rightarrow D = 38.9\ \text{mm} \end{aligned}\right.$$

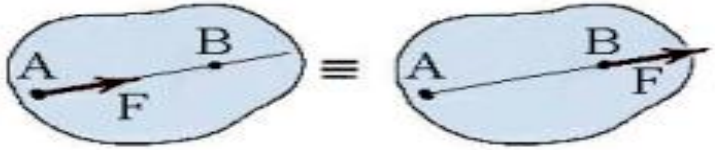
المزدوجة



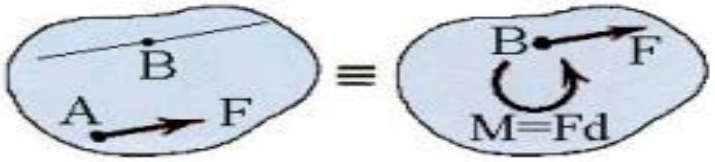
هي كل قوتين متساويتين بالقيمة ومتعاكستين بالاتجاه محمولتين على حاملين متوازيين، نسمّي المستوي الذي تقع فيه القوتان بمستوي المزدوجة والمسافة العموديّة بين منحيي القوّتين بذراع المزدوجة وتمثّل المزدوجة عزم منفرد بدون قوّة قيمته هي حاصل جداء إحدى القوّتين بذراع المزدوجة.

يبين الشكل مزدوجة قيمة عزمها $M = 130 \times 700 \ N \cdot mm$

نقل القوّة

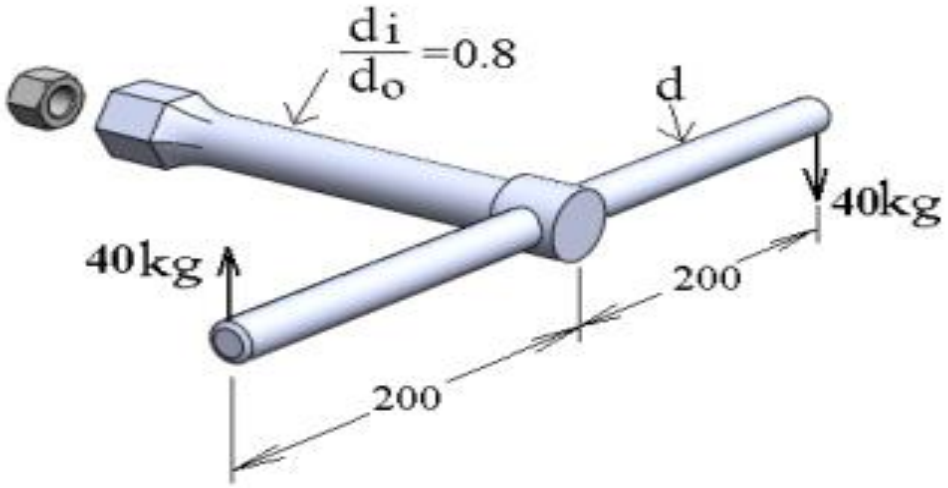


نقل القوّة على حاملها (زلق القوة): من حيث التأثير الخارجي على الأجسام يمكن نقل القوّة على حاملها دون أن يغيّر ذلك من تأثير هذه القوّة.



النقل المتوازي للقوّة: من حيث التأثير الخارجي على الأجسام يمكن نقل القوّة من حاملها إلى حامل آخر يوازيه ولكن يُشترط إضافة عزم هو نفسه عزم القوّة محسوباً من مكانها القديم حول مكانها الجديد.

مسألة يبيّن الشّكل نموذجاً لأحد مفاتيح فك وتركيب الصواميل يخضع لتأثير التحميل المبيّن والمطلوب:

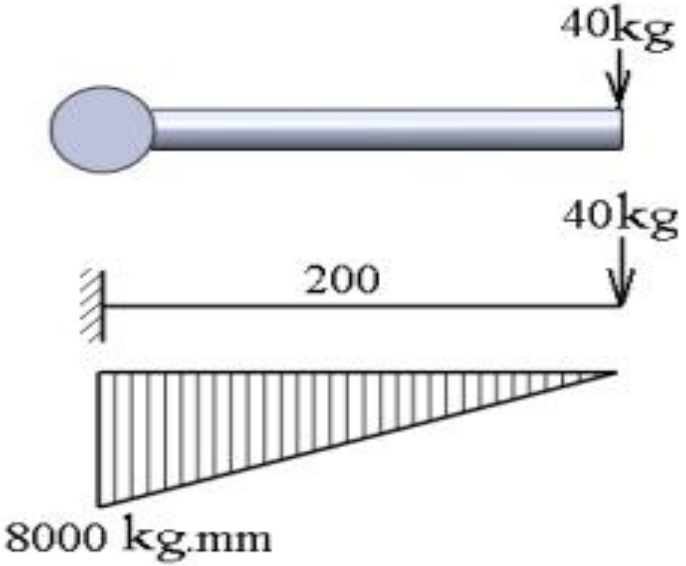


1- حساب قطر ذراع التدوير حيث إنّ مقطعه دائري مصمت؟

2- حساب القطر الداخلي والخارجي لساق المفتاح حيث مقطعه مفرّغ

مادّة الجائز $\sigma_y = 20\ \text{kg/mm}^2$ ، عامل الأمان f.s=1.5

الحل



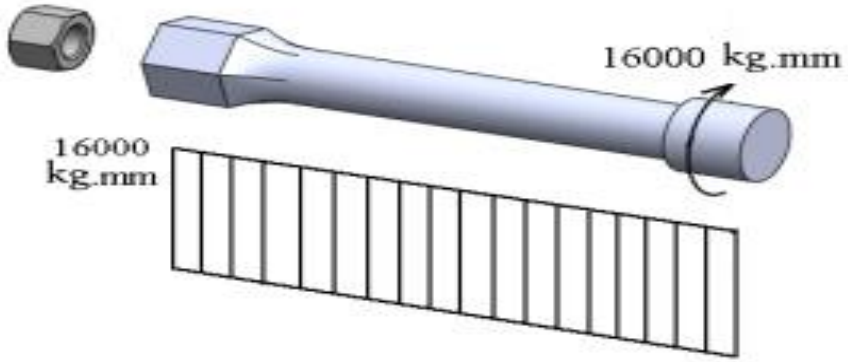
1- تصميم ذراع التدوير: يخضع ذراع التدوير إلى الانحناء وعند رسم مخطّط الانحناء يستبين أنّ المقطع الخطر يكون في مقطع اتصاله مع ساق المفتاح كما هو مبيّن في الشكل.

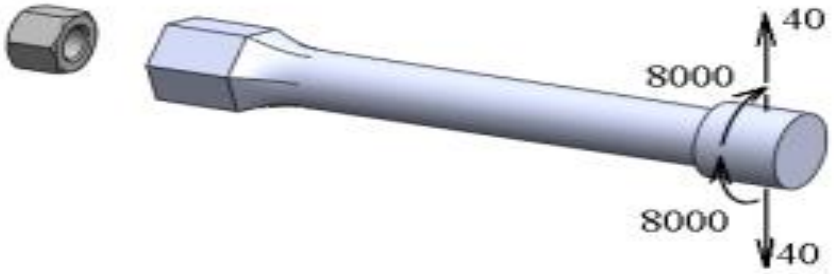
يُصمّم الذراع على إجهاد الانحناء وفق:

$$\sigma = \frac{32\,M_b}{\pi d^3} = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{32 \times 8000}{\pi d^3} = \frac{20}{1.5}$$

$$\Rightarrow d = 18.28\ \text{mm} \Rightarrow d = 20\ \text{mm}$$

2- تصميم ساق المفتاح: ننقل القوى بحيث تؤثّر على طرف الساق مع اعتبار مكان الصامولة كوثاقة، نلاحظ أنّ القوى تفني بعضها والعزوم الناتجة عن نقل القوى تؤثر كعزوم فتل على الساق تُحصّل بعزم فتل واحد كما يبين الشكل.



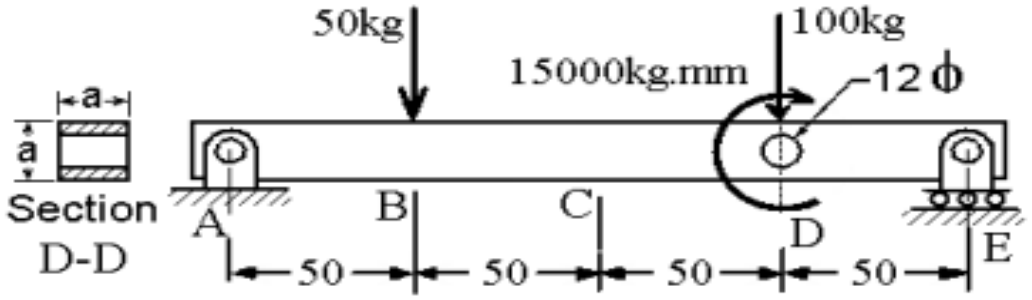


يبيّن رسم مخطط الفتل أنّ جميع المقاطع لها نفس الخطورة ويُصمم المقطع وفق:

$$\tau = \frac{16\,M_t}{\pi\, d_o^3\left[1-\left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]} = \tau_{all} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{16 \times 16000}{\pi\, d_o^3[1-(0.8)^4]} = \dfrac{10}{1.5} \\ \Rightarrow d_o = 27.46\ \text{mm} \\ \Rightarrow d_o = 30\ mm\ , \quad d_i = 24\ \text{mm} \end{cases}$$

مسألة

جائز بسيط مقطعه مربع 20x20 فيه ثقب عرضي قطره 12mm يخضع للحمولات كما هو مبيّن في الشكل والمطلوب حساب عوامل الأمان للنقطة الخطرة في كل من المقاطع B, C, D المادة: St42 ؟



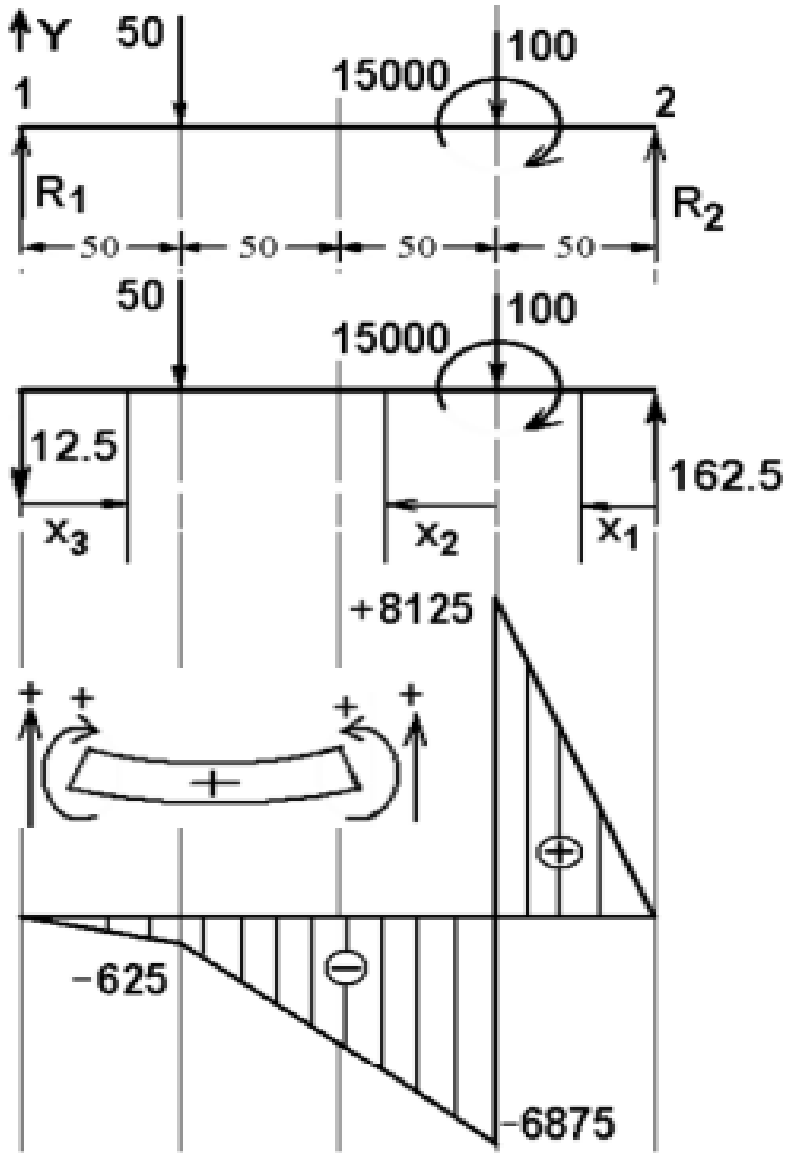
الحل

1- يخضع الجائز إلى الإنحناء ويُصمّم وفق الإجهاد الناظمي.

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \sigma_{all}$$

نحدّد أولاً المقطع الخطر برسم مخطّط عزم الانحناء المؤثر على الجائز الذي يتطلب أولاً حساب ردود الأفعال بالاعتماد على معادلات التوازن:

$$\sum M_2 = 0 \Rightarrow 100 \times 50 + 50 \times 150$$
$$-15000 - R_1 \times 200 = 0$$



$$\Rightarrow R_1 = -12.5daN$$

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_1 - 50 - 100 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow -12.5 - 50 - 100 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow R_2 = 162.5\text{kg}$$

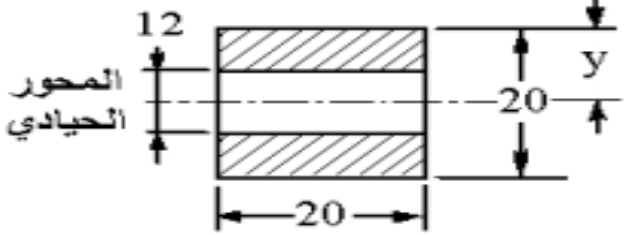
يعتمد رسم مخطّط عزم الانحناء على دراسة العزم الداخلي في المقاطع مع اصطلاح جهة التقوّس المبيّنة على الشكل.

$$M_1 = +162.5X_1 \begin{cases} X_1 = 0 \Rightarrow M_1 = 0 \\ X_1 = 50 \Rightarrow M_1 = 8125 \end{cases}$$

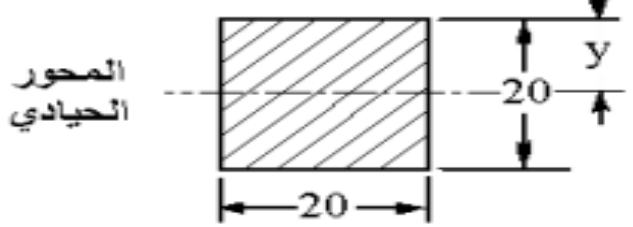
$$M_2 = +162.5(50 + X_2) - 15000 - 100X_2$$

$$\rightarrow \begin{cases} X_2 = 0 \Rightarrow M_2 = -6875 \\ X_2 = 100 \Rightarrow M_2 = -625 \end{cases}$$

$$M_3 = -12.5X_3 \begin{cases} X_3 = 0 \Rightarrow M_3 = 0 \\ X_3 = 50 \Rightarrow M_3 = -625 \end{cases}$$



D المقطع



B , C المقاطع

عامل الأمان في المقطع B:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{\sigma_y}{f.s} \Rightarrow \frac{625 \times 10}{(20^4/12)} = \frac{21}{f.s} \Rightarrow f.s = 44.8$$

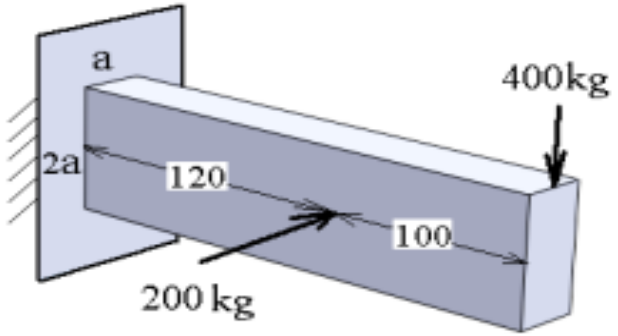
عامل الأمان في المقطع C:

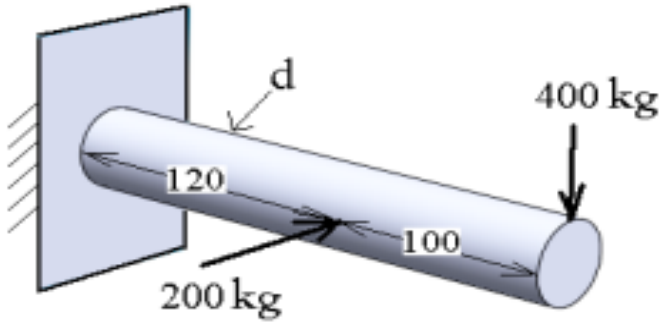
$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{\sigma_y}{f.s} \left\{ \begin{array}{l} M_b = M_{2(X_2=50)} = -3750 \\ y = 10 \\ I = (20^4/12) \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{3750 \times 10}{(20^4/12)} = \frac{21}{F.S} \Rightarrow f.s = 7.5$$

عامل الأمان في المقطع D:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{\sigma_y}{f.s} \left\{ \begin{array}{l} M_b = 8125\ kg.mm \\ y = 10\ mm \\ I = \dfrac{20^4}{12} - \dfrac{20\,(12)^3}{12} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{8125 \times 10}{\dfrac{20^4}{12} - \dfrac{20\,(12)^3}{12}} = \frac{21}{f.s} \Rightarrow F.S = 2.7$$

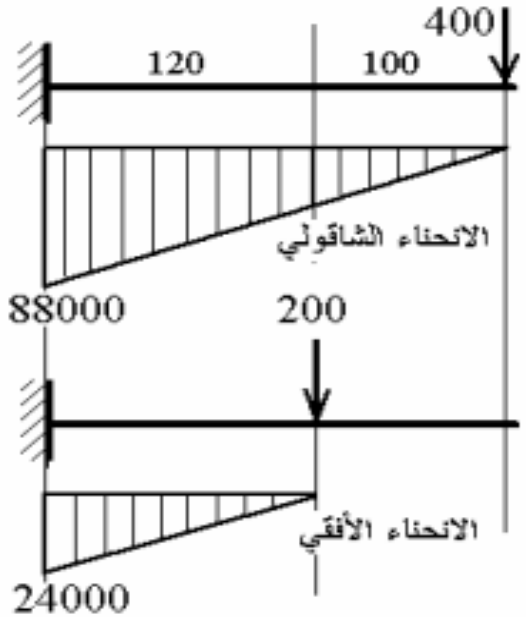
مسألة احسب أبعاد المقطع لجائز موثوق في حالتين (مقطع مستطيل أبعاده $a \times 2a$ ، مقطع دائري قطره d) والذي يخضع لتحميل شاقولي وتحميل أفقي كما هو مبيّن في الشكل؟ $\sigma_y = 18\ \text{kg/mm}^2$ وعامل الأمان f.s=1.5





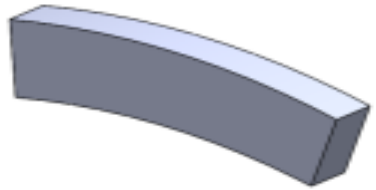
الحل

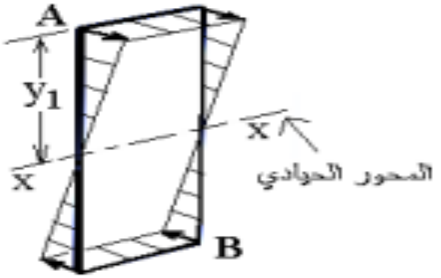
يخضع الجائز إلى الانحناء في مستويين ويتم تحديد المقطع الخطر برسم مخططي الانحناء الشاقولي والأفقي ويتبيّن من المخطّطات أنّ المقطع الخطر هو مقطع الوثاقة وعليه:

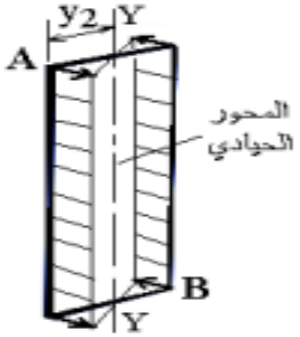


$$M_b^V = 88000\ \text{kg.mm}$$
$$M_b^H = 24000\ \text{kg.mm}$$

حالة المقطع المستطيل: نبيّن في الشّكل توزّع الإجهادات على المقطع الخطر ومنها يتبيّن أنّ النقطة الخطرة هي A أو B والتصميم عليها.







$$\sigma_{\max} = \sigma_V + \sigma_H = \sigma_{all}$$

$$\Rightarrow \frac{M_b^V \cdot y_1}{I_{XX}} + \frac{M_b^H \cdot y_2}{I_{YY}} = \sigma_{all}$$

$$\frac{88000 \cdot a}{a \cdot (2a)^3/12} + \frac{24000 \cdot a/2}{2a \cdot (a)^3/12} = \frac{18}{1.5}$$

$$\frac{132000}{a^3} + \frac{72000}{a^3} = \frac{18}{1.5}$$

$$\Rightarrow a = 25.71\,\text{mm}$$

حالة المقطع الدائري: في هذه الحالة تكون النقطة الخطرة على محيط المقطع في المكان الذي يوافق المحصّلة الشعاعيّة للانحناء الأفقي والشاقولي والتصميم يتم وفق:

$$\left.\begin{aligned} \sigma &= \frac{32\,M_b^T}{\pi d^3} = \sigma_{all} \\ M_b^T &= \sqrt{(M_b^V)^2 + (M_b^H)^2} = 91214 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{32 \times 91214}{\pi d^3} = \dfrac{18}{1.5} \\ \Rightarrow d = 42.62\,\text{mm} \end{cases}$$

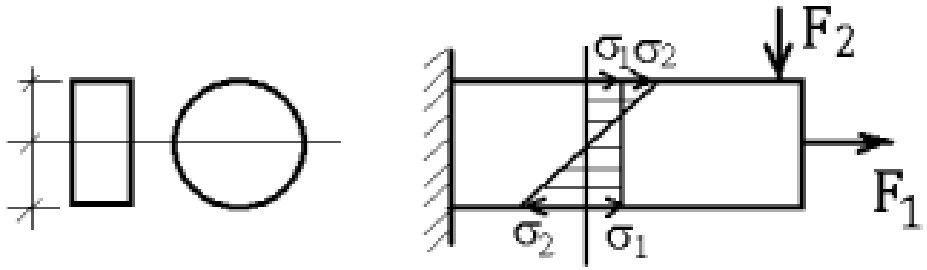
الإجهادات في حالات التحميل المركّبة

في هذه الحالات يكون للإجهادات في النقطة الخطرة أكثر من مصدر.

1- حالة انحناء مع قوة محوريّة

ندرس حالة المادّة مطيليّة حيث انهيار الشد مساوي لانهيار الضغط.

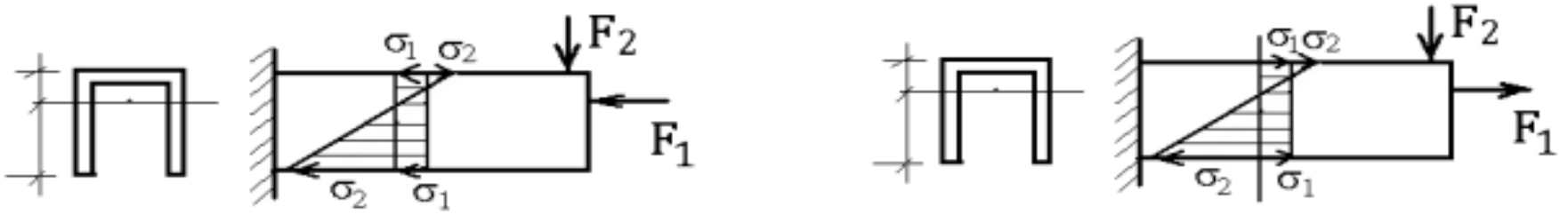
حالة مقطع متناظر بالنسبة للمحور الحيادي (مستطيل، دائرة):



النقطة الخطرة دوماً حيث يجتمع الإجهادين مكان القيمة العظمى لإجهاد الانحناء ولا داعي لرسم توزع الإجهادات ومهما تغيرت اتجاهات القوة والعزم دوما يكون:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

حالة مقطع غير متناظر بالنسبة للمحور الحيادي:

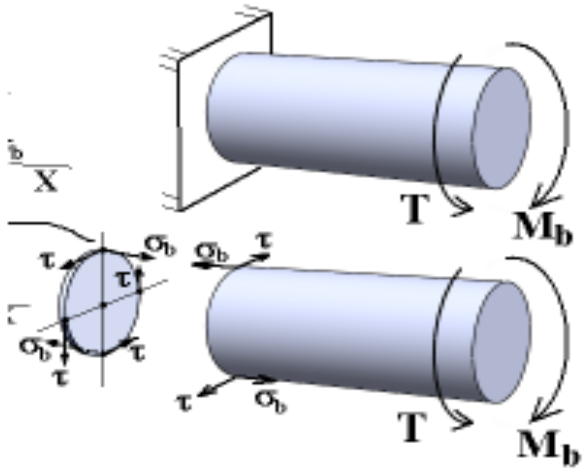


عندما يجتمع الإجهادين في النقطة البعيدة عن المحور الحيادي تكون هي الخطرة وفيها:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

عندما يجتمع الإجهادين في النقطة القريبة من المحور الحيادي يجب حساب محصلة الإجهادين في النقطة القريبة جمعاً وف النقطة البعيدة طرحاً وتكون النقطة الخطرة في المكان ذو المحصلة الأكبر نصمم عليها:

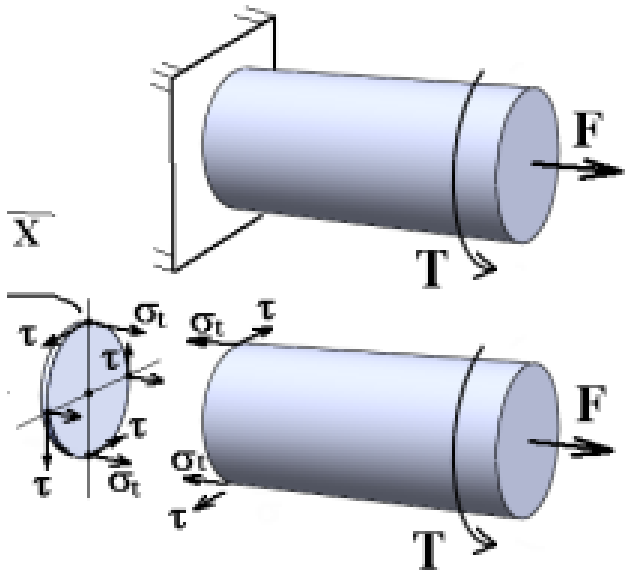
2- حالة انحناء مع فتل



يتم التصميم وفق إجهاد القص الأعظمي الذي يتم إيجاده برسم دائرة مور للنقطة الخطرة وللتصميم يجب أن يتحقق:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

3- حالة قوة محورية مع فتل

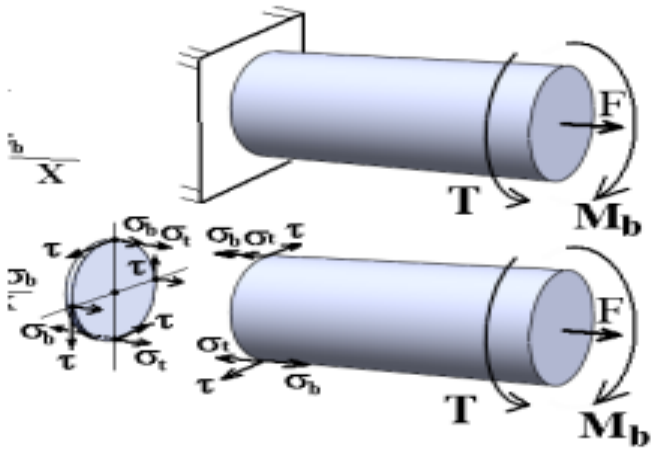


يتم التصميم وفق القص الأعظمي الذي يتم إيجاده برسم دائرة مور للنقطة الخطرة

وللتصميم يجب أن يتحقق:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

4- حالة قوة محورية مع انحناء مع فتل



يتم التصميم وفق القص الأعظمي الذي يتم إيجاده برسم دائرة مور للنقطة الخطرة وللتصميم يجب أن يتحقق:

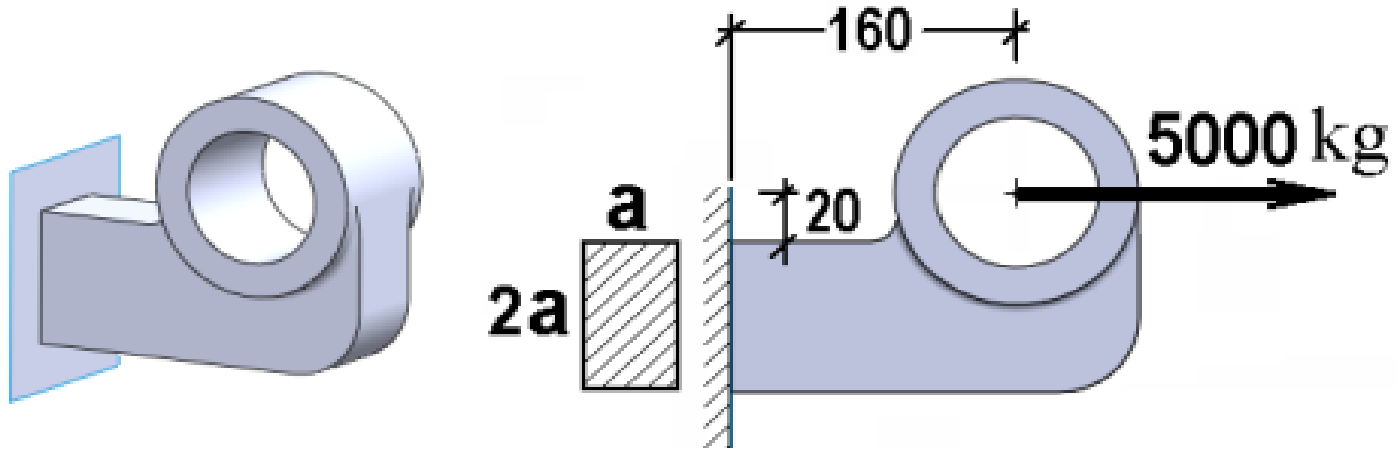
$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

معادلات تصميم محور غير دوّار تحت الحمولات الساكنة

يُعتبر المحور جائز ذو مقطع دائري قد يكون مصمت أو مفرَّغ وهو قطعة ميكانيكيّة شائعة الاستخدام لذلك نورد في الجدول التالي معادلات تصميم المقطع الخطر في محور غير دوّار وفقاً لنظريّة القص الأعظمي مستنتجة على أساس حساب الإجهادات في النقاط الخطرة من المقطع الخطر وذلك بوضع $(r_{max} = d/2)$ في علاقة إجهاد الفتل ووضع $(y_{max} = d/2)$ في علاقة حساب إجهاد الانحناء واستخدام علاقات حساب عزوم العطالة لدائرة مصمتة ودائرة مفرّغة.

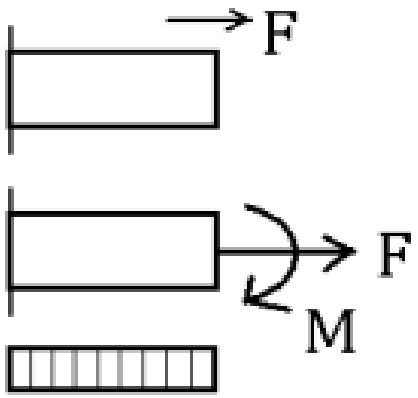
الحمولة	محور مصمت قطره d	محور مفرغ أقطاره D, d
قوة محورية	$\frac{4F}{\pi d^2}=\frac{\sigma_y}{f.s}$	$\frac{4F}{\pi D^2\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}=\frac{\sigma_y}{f.s}$
فتل	$\frac{16M_t}{\pi.d^3}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$	$\frac{16M_t}{\pi.D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$
انحناء	$\frac{32M_b}{\pi d^3}=\frac{\sigma_y}{f.s}$	$\frac{32M_b}{\pi D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}=\frac{\sigma_y}{f.s}$
فتل+ انحناء	$\frac{16}{\pi d^3}\sqrt{M_b^2+M_t^2}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$	$\frac{16}{\pi D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}\sqrt{M_b^2+M_t^2}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$

مسألة يخضع حامل المحور المبيّن في الشكل لتأثير القوّة المبيّنة عليه والمطلوب حساب البعد a لمقطع الحامل عند الوثاقة ؟ مادّة الحامل St42 وعامل الأمان f.s=2.



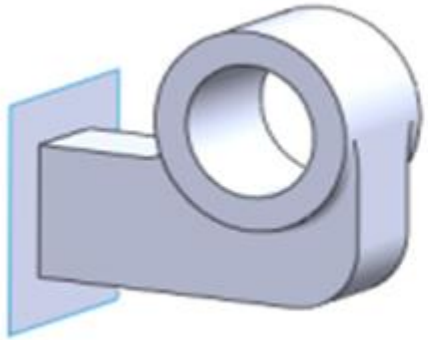
الحل

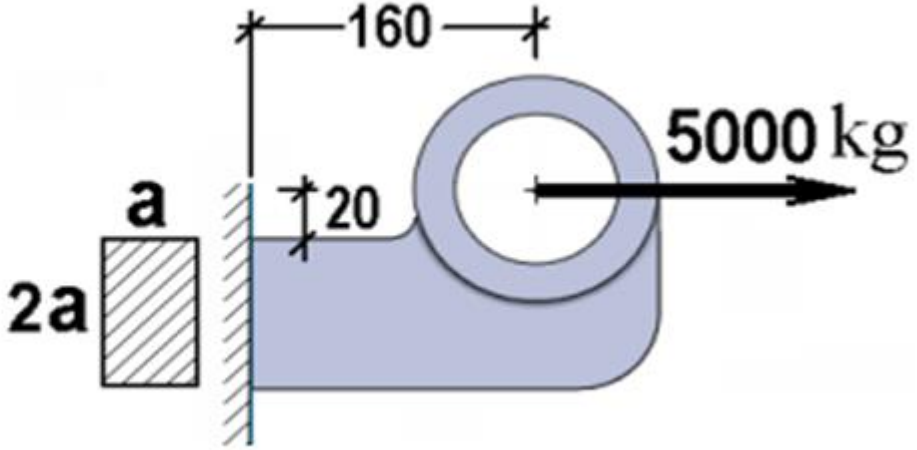
1- نبين على الشكل التالي الحمولة على مقطع الوثاقة يخضع المقطع المدروس لـ

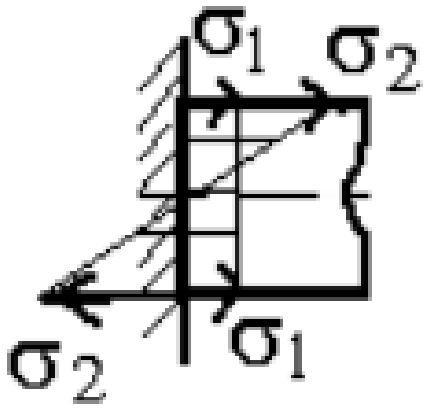


- قوة شد محورية: $F = 5000\ \text{kg}$
- عزم انحناء: $M_b = 5000(20 + a)\ \text{kg} \cdot \text{mm}$

المقطع متناظر بالنسبة للمحور الحيادي والنقطة الخطرة في الأعلى والتصميم يتم وفق:







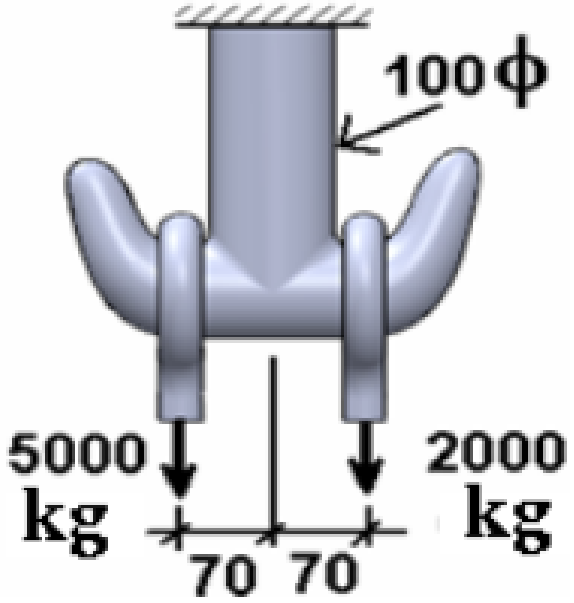
$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{all}$$

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} = \frac{5000}{2a \times a} = \frac{2500}{a^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{5000(20+a)a}{a(2a)^3/12} = \frac{150000}{a^3} + \frac{7500}{a^2}$$

$$\frac{2500}{a^2} + \frac{150000}{a^3} + \frac{7500}{a^2} = \frac{42}{2 \times 2} \quad \Rightarrow \quad a = 36.6\text{mm}$$

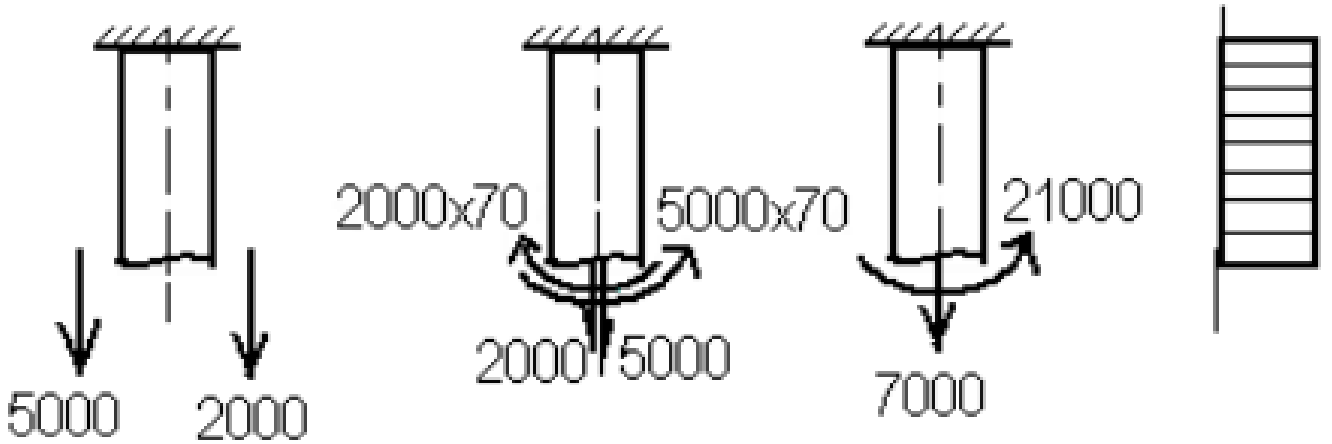
مسألة



يبيّن الشكل خطّاف مزدوج محمّل بالقوى المبيّنة والمطلوب حساب عامل الأمان للنقطة الخطرة من المحور الرئيسي للخطّاف الذي قطره 100 mm مادّة الخطّاف St42.

الحل

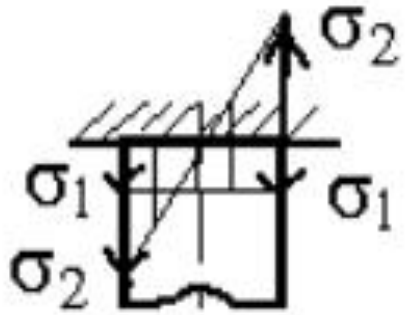
نبين الحمولة على محور الخطاف



يخضع المقطع الخطر (أي مقطع من العمود) لـ

- قوة محورية شادة: $F=7000\ kg$
- عزم انحناء: $M_b= 210000\ kg.mm$

المقطع دائري متناظر بالنسبة للمحور الحيادي والتصميم يتم وفق:

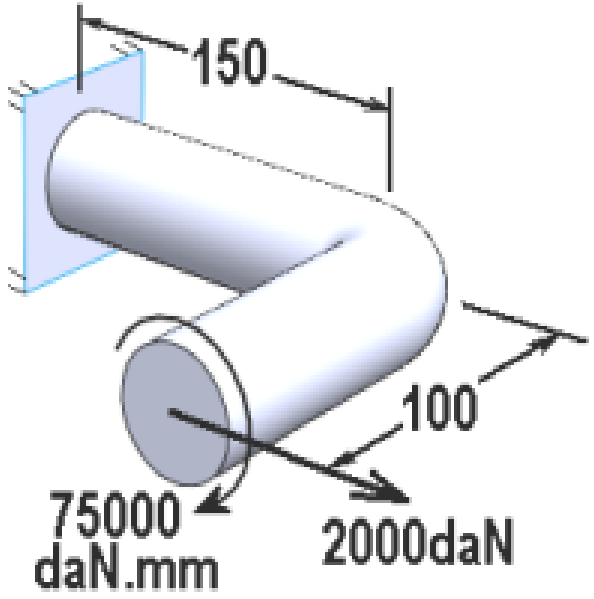


$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\sigma_1 = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4\times 7000}{\pi 100^2} = 0.89\ kg/mm^2$$

$$\sigma_2 = \frac{32M_b}{\pi d^3} = \frac{32\times 210000}{\pi 100^3} = 2.1\ kg/mm^2$$

$$0.89 + 2.1 = \frac{42}{2f.s} \quad \Rightarrow \quad f.s = 7$$

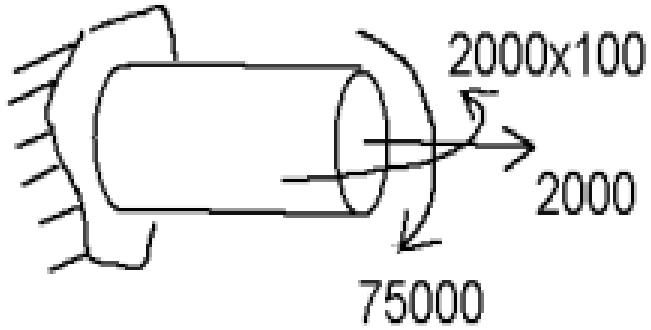


مسألة يبلغ قطر الذراع المثني بزاوية قائمة والمبيّن في الشّكل القيمة d=50mm ويخضع للحمولات المبيّنة والمطلوب حساب عامل الأمان في نقطة الإجهاد الأعظمي من الوثاقة؟ مادّة الذراع St50.

الحل

نبين الحمولة على مقطع الوثاقة

برسم المخططات (غير مرسومة) نجد أنّ مقطع الوثاقة يخضع لـ:



- قوة محورية شادة: F=2000 kg
- عزم انحناء شاقولي: M_b= 75000 kg.mm
- عزم انحناء أفقي: M_b= 200000 kg.mm

وبالتالي عزم انحناء كلي:

$$M_b^T = \sqrt{\left(M_b^V\right)^2 + \left(M_b^H\right)^2} = \sqrt{75000^{\ 2} + 200000^{\ 2}} = 213600 \quad \text{kg.mm}$$

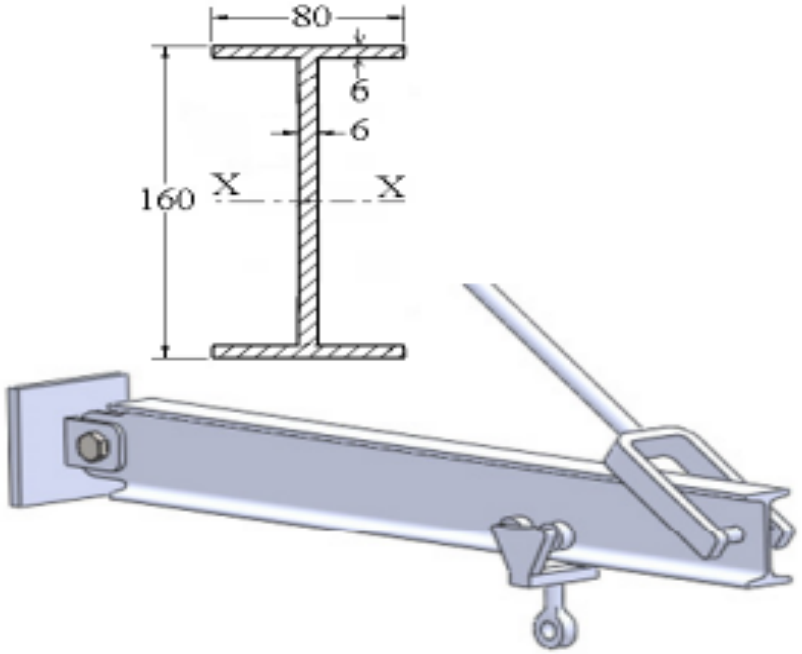
المقطع دائري متناظر بالنسبة للمحور الحيادي والتصميم يتم وفق:

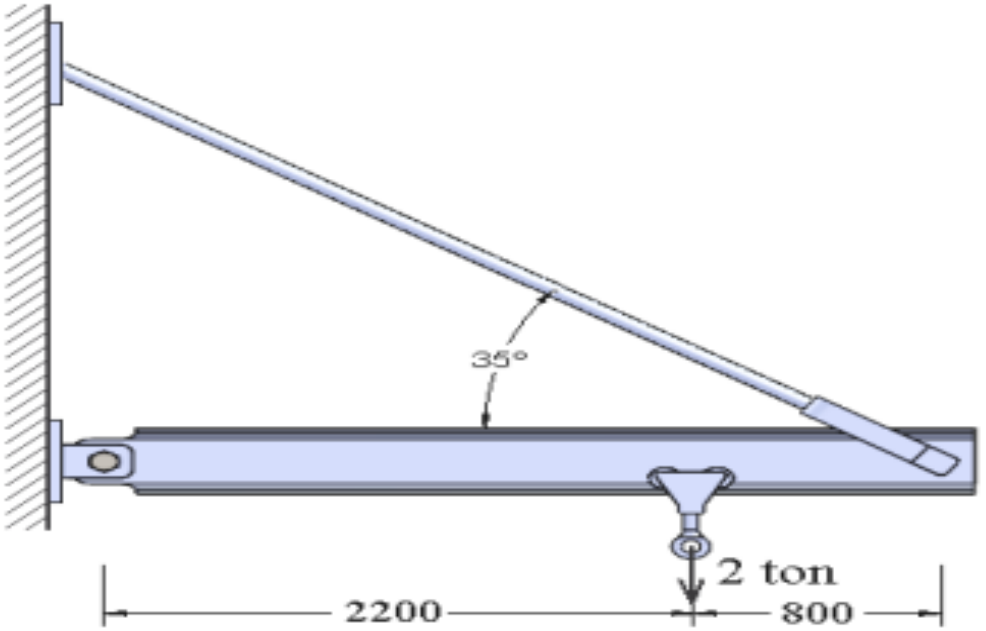
$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s} \quad \begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{4F}{\pi d^2} = \dfrac{4 \times 2000}{\pi (50)^2} = 1.08 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_2 = \dfrac{32M_b^T}{\pi d^3} = \dfrac{32 \times 213600}{\pi (50)^3} = 17.4 \text{ kg/mm}^2 \end{cases}$$

نعوض:

$$1.08 + 17.4 = \frac{50}{2f.s} \quad \Rightarrow \quad f.s = 1.35$$

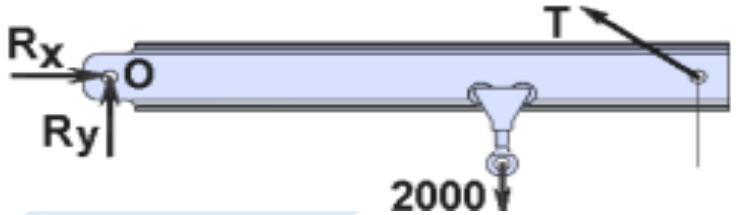
مسألة يُبيّن الشكل جسر رافعة مقطعه I معلوم الأبعاد يحمل وزن 2ton في الوضعيّة المبيّنة، المطلوب حساب عامل الأمان للمقطع الخطر لوضعيّة التحميل المبيّنة حيث مادة الجسر St50 ؟

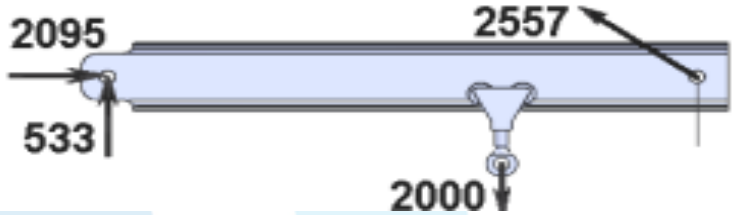




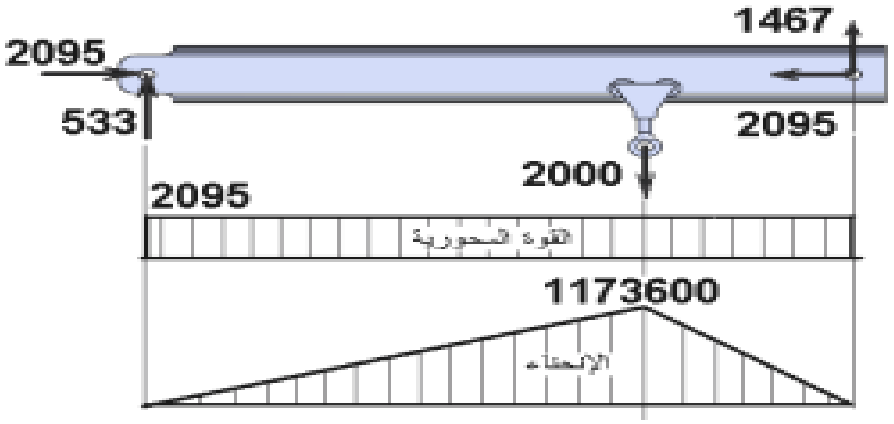
الحل:

نحسب قوة الشد في قضيب الدعم ومركبتي رد الفعل في المفصل من دراسة التوازن.





$$\sum M_O = 0 \Rightarrow T \cdot Sin(35) \cdot (3000) - 2000 \times 2200 = 0 \Rightarrow T = 2557 \text{ daN}$$
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_x - 2557 \cdot Cos(35) = 0 \Rightarrow R_x = 2095 \text{ daN}$$
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_y - 2000 + 2557 \cdot Sin(35) = 0 \Rightarrow R_y = 533 \text{ daN}$$



برسم مخطّطات الحمولة المبيّنة نجد أنّ المقطع الخطر يخضع لـ:

– قوّة ضغط محوريّة: 2095 kg

– عزم انحناء: 1173600 kg.mm

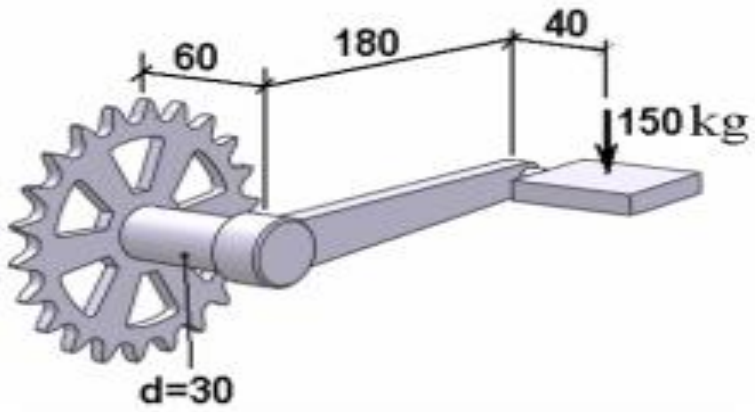
المقطع متناظر بالنسبة للمحور الحيادي ويُحسب الإجهاد الأعظمي الذي يتوضّع في النقاط العلوية من المقطع الخطر وفق:

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{R_x}{A} = \frac{2095}{(160-12)\times 6 + 2(80\times 6)} = 1.13 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \\ \sigma_2 &= \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{117360 \cdot 80}{\frac{80(160)^3}{12} - 2\frac{37(148)^3}{12}} = 12.83 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{aligned} \sigma_{max} &= 1.13 + 12.83 \\ &= 14 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \end{aligned}\right.$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{all} \Rightarrow 14 = \frac{25}{f.s} \Rightarrow f.s = 1.8$$

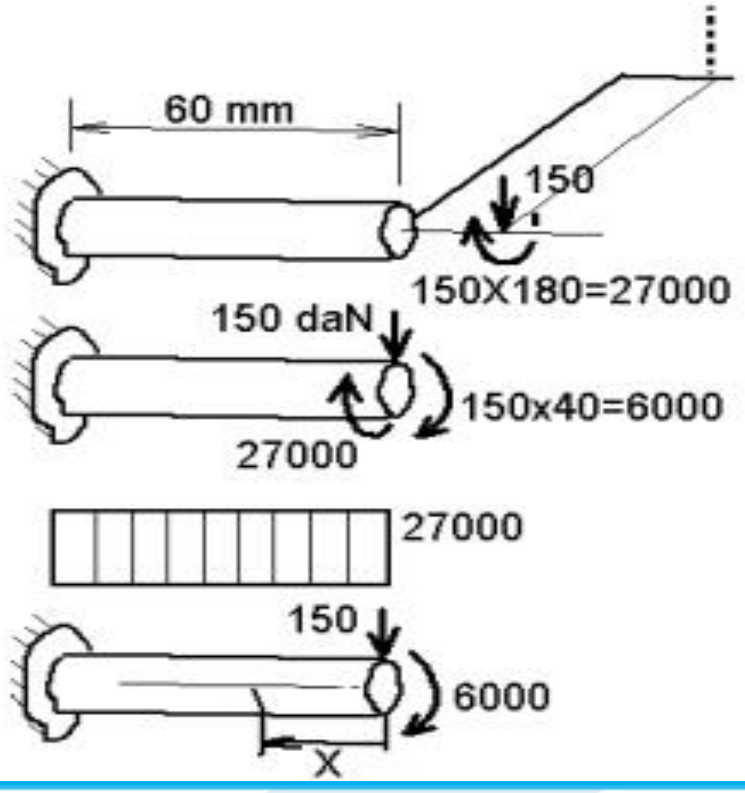
مسألة



يتم اختبار دوّاسة درّاجة هوائيّة بتطبيق القوّة كما هو مبيّن في الشكل مع تثبيت نجمة التدوير فإذا كان قطر محور نجمة التدوير d=30mm وإجهاد الخضوع لمادّة التصنيع $\sigma_y=25\ kg/mm^2$.

احسب عامل الأمان لهذا المحور؟

الحل



نبيّن تأثير القوّة على المحور بنقلها إلى طرف المحور مع إضافة العزوم الناتجة عن النقل مع اعتبار أنّ مكان اتصال المحور مع نجمة التدوير يُعتبر كوثاقة للمحور. نرسم مخططات الانحناء والفتل لتحديد المقطع الخطر

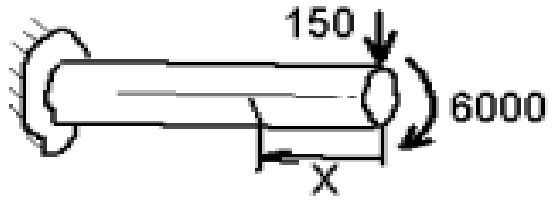
$$M = -6000 - 150\ x \qquad \begin{cases} x = 0 \Rightarrow M = -6000 \\ x = 60 \Rightarrow M = -15000 \end{cases}$$

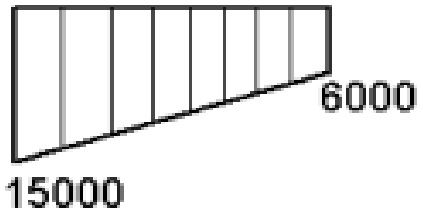
برسم المخططات نلاحظ أنّ المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_b = 15000\ kg \cdot mm \quad \rightarrow \quad \sigma$$

$$M_t = 27000\ kg \cdot mm \quad \rightarrow \quad \tau$$

ويتم تصميم المحور وفق معادلة القص الأعظمي:





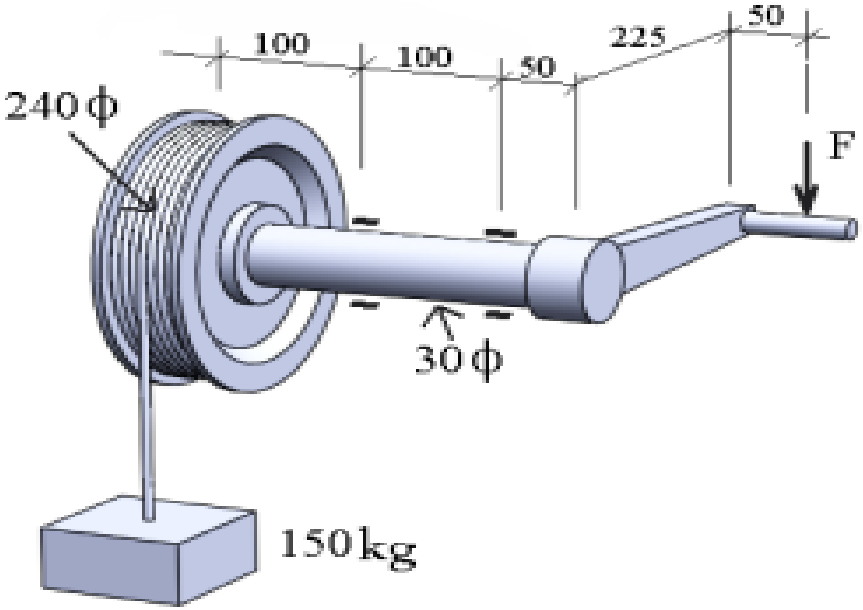
ويتم تصميم المحور وفق معادلة القص الأعظمي:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all}$$

التي تأخذ الشكل التالي لمحور مصمت خاضع لفتل وانحناء:

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(M_b)^2 + (M_t)^2} = \tau_{all} \quad \Rightarrow \quad \frac{16}{\pi (30)^3}\sqrt{(15000)^2 + (27000)^2} = \frac{25}{2f.s} \Rightarrow f.s = 2.15$$

مسألة



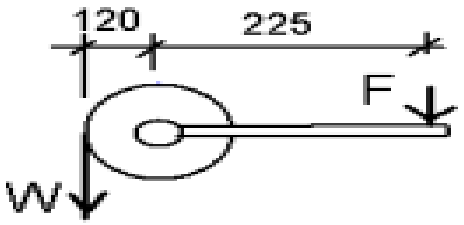
يبيّن الشّكل آليّة رفع تُستخدم لرفع الوزن 150kg والمطلوب:

1- حساب القوّة F اللازمة لحالة التوازن؟

2- بين فيما إذا كان محور حامل البكرة يتحمل الحمولات المطبقة علماً أنّ قطره 35 mm ؟ مادّة المحور St42 f.s=2.

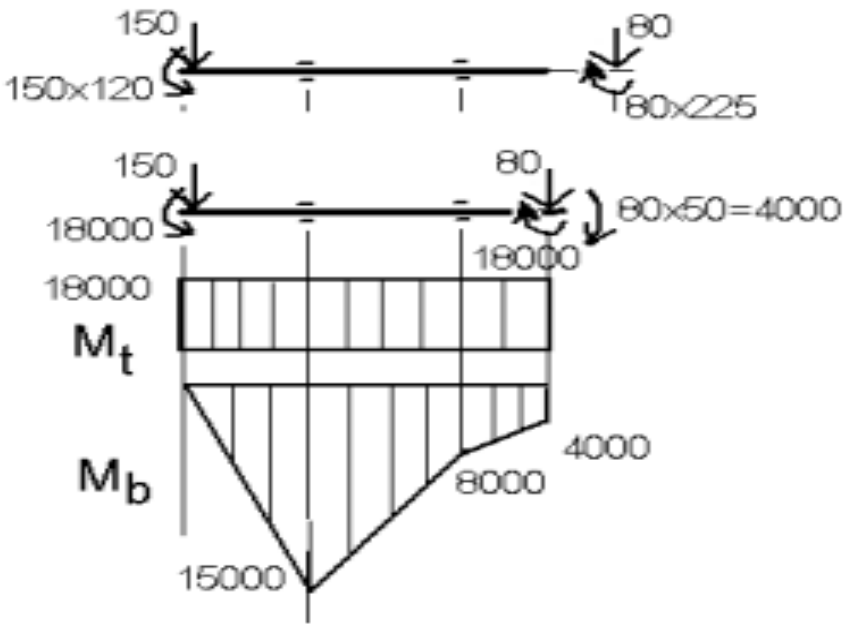
الحل

1- من توازن الفتل حول محور الدوران:



$$W \times 120 = F \times 225$$
$$150 \times 120 = F \times 225 \quad \Rightarrow \quad F = 80\,\text{kg}$$

2- يتم الحل بحساب الإجهاد الأعظمي في المحور حسب التحميل والمقارنة مع المسموح به لذلك نبين الحمولات:



برسم المخططات نلاحظ أنّ المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_b = 15000\ \text{kg.mm}$$
$$M_t = 18000\ \text{kg.mm}$$

الإجهاد الأعظمي يحسب وفق معادلة القص الأعظمي التي تأخذ الشكل التالي لمحور مصمت خاضع لفتل وانحناء:

$$\tau_{max} = \frac{16}{\pi \cdot d^3}\sqrt{(M_b)^2 + (M_t)^2}$$
$$\tau_{max} = \frac{16}{\pi \cdot (35)^3}\sqrt{(15000)^2 + (18000)^2} = 2.78$$
$$\tau_{all} = \frac{\tau_y}{f.s} = \frac{\sigma_y}{2f.s} = \frac{21}{2 \times 2} = 5.25\,\text{kg/mm}^2$$

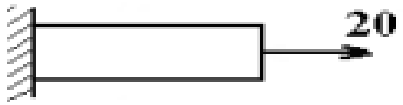
المحور يتحمل

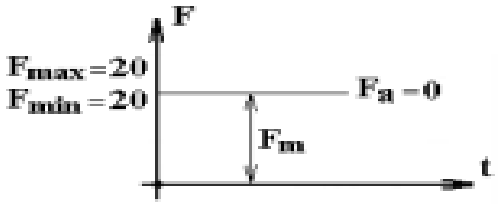
تصميم العناصر الخاضعة للحمولات المتغيّرة

الحمولات المتغيرة

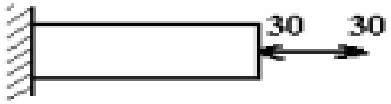
الحمولة المتغيّرة بالتعريف هي الحمولة التي تتغيّر قيمتها أو اتجاهها أو مكان تأثيرها مع الزمن ويمكن أن يشمل التغيّر جميع المقادير السابقة، تنتج الحمولات المتغيّرة بسبب حركة عناصر الآلات وتنتشر الحمولات الدوريّة غالباً في الآلات الدورانيّة ويتغيّر الحمل غالباً بشكل جيبي بسبب الدوران، تبيّن الأشكال اللاحقة المخططات الزمنيّة للأنواع المختلفة للحمولات الدوريّة ممثّلة بقوة محوريّة ومرفقة بمخطط الحمولة الساكنة للتوضيح.

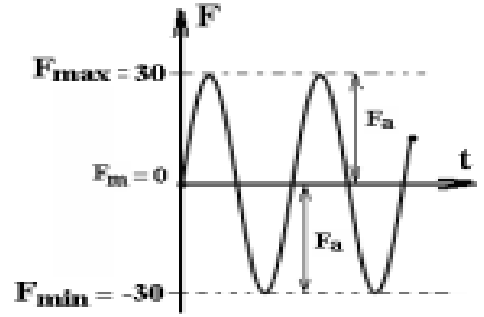
الحمولة الساكنة Static load



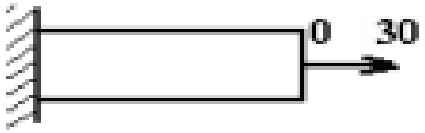


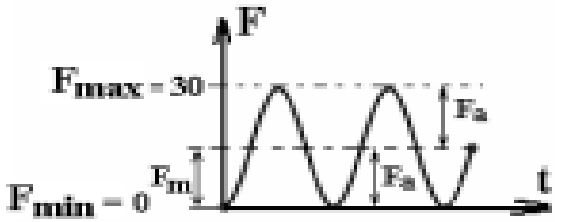
الحمولة المنعكسة المتناظرة Fully reversed load



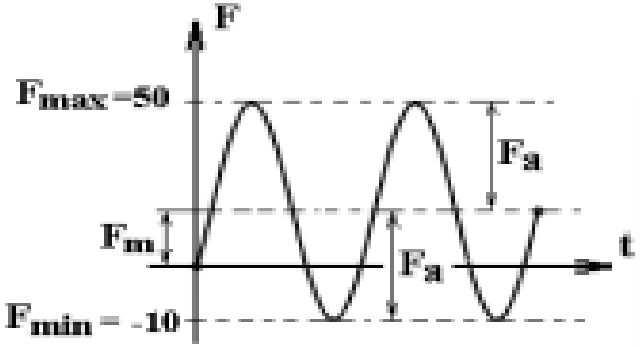


Repeated load الحمولة المتكررة

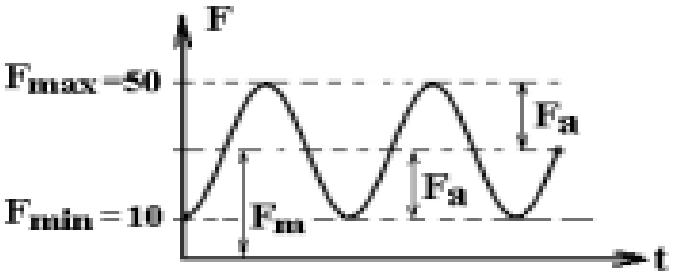




Alternating load الحمولة المنعكسة غير المتناظرة



Fluctuating load الحمولة المتراوحة

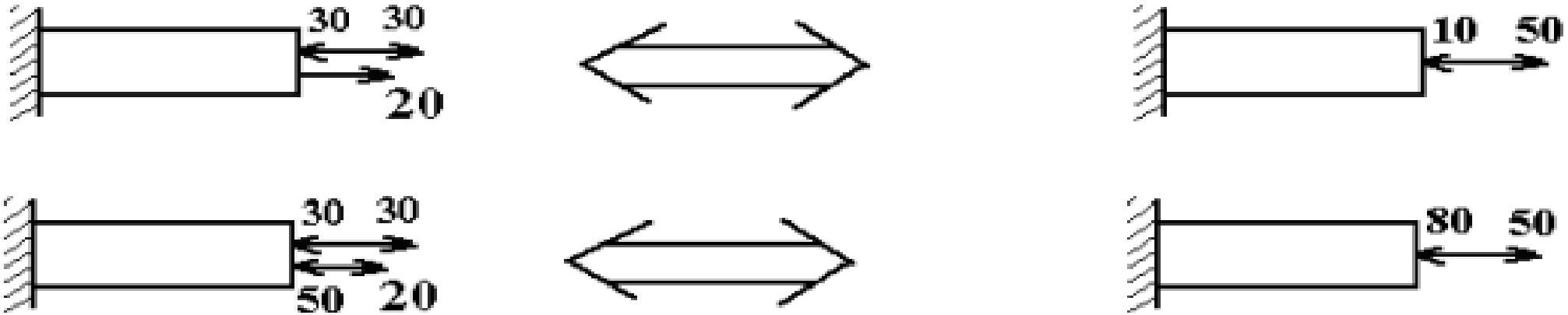


تبيّن المخططات وجود قيمة عظمى F_{max} وقيمة صغرى F_{min} للحمولة وبالتالي يتم تعريف قيمة وسطية F_m وقيمة متناوبة F_a وفق العلاقات:

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}, \quad F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

جمع الحمولات الساكنة والمتغيرة

عندما تؤثر الحمولات في نفس النقطة تجمع كما يلي:

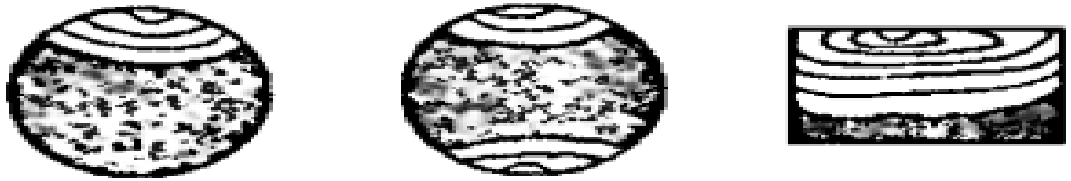


ظاهرة انهيار المواد بالتعب

يبدأ انهيار التعب بشق Crack قد يكون موجوداً في المادّة منذ إنتاجها أو أنّه ينشأ مع الوقت بآلية حصول خضوع موضعي في مناطق تركيز الإجهادات التي قد تكون معالماً هندسيّةً للجسم أو أماكن تواجد جزيئات غير المادّة الأصليّة أو على حدود البلّورات.

حالما ينشأ الشق الميكروسكوبي تتركّز الإجهادات بشكل أكبر على الزوايا الحادّة للشق ويؤدي تردّد الإجهاد إلى فتح وإغلاق الشق وبالتالي توسّعه على طول المستوي العمودي على إجهاد الشد الأعظم ويستمر الشق بالنمو ما دامت دورة الإجهاد قائمة حتى الوصول إلى مرحلة يصبح فيها الشق كبيراً وتصبح مساحة المقطع الباقية صغيرة على مقاومة الإجهاد عندها يحدث الكسر الفجائي في أول دورة شد لاحقة للإجهاد.

عند فحص مقطع الكسر في عيّنة مكسورة بالتعب نجد أنّها تحتوي على منطقة بشكل أمواج لامعة وأخرى باهتة خشنة، تقابل المنطقة اللامعة مرحلة انتشار الشق وينتج اللمعان بفعل احتكاك السطوح مع بعضها عند فتح وإغلاق الشق الذي يؤدّي إلى تنعيم السطوح، وتقابل المنطقة الخشنة مرحلة الكسر الفجائي النهائي وهذا مبيّن في الشكل.



حد التعب المعدل وعوامل تعديل حد التعب

من أجل استخدام قيمة حد التعب في التصميم لا بد من إدخال تصحيحات على هذه القيمة تأخذ بعين الاعتبار الفروق بين العيّنة المختبَرة والقطعة موضوع التصميم من مناحي متعددة وبالتالي نعرف حد التعب المعدل

وفق العلاقة التالية:

$$S_{nr} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g \cdot S'_{nr}$$

عامل تصحيح حالة السطح (ka) ، عامل تصحيح الحجم (kb) ، عامل تصحيح الوثوقية (kc) ، عامل تركيز إجهادات التعب (kf) ، عامل تصحيح درجة الحرارة (ke) ، العوامل الأخرى (kg)

التصميم في الحمولات الدورية البسيطة (معادلة سودربرغ)

لهذه الحالات نحسب إجهاد مكافئ ساكن للحمولة المتغيرة والتصميم وفق:

$$\sigma_m + \frac{\sigma_a \, \sigma_y}{A \, S_{nr}} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\tau_m + \frac{\tau_a \, \tau_y}{A \, S_{nr}} = \frac{\tau_y}{f.s}$$

حيث σ_m, σ_a الإجهادين المتناوب والمتوسط، σ_y, τ_y حد الخضوع في القص وفي الشد للمواد المطيليّة، S_{nr} حد التعب المعدل ، A عامل الحمولة يؤخذ وفق ما يلي:

- من أجل إجهاد ناتج عن انحناء يُؤخذ A=1
- من أجل إجهاد ناتج عن قوّة محوريّة يُؤخذ A=0.7
- من أجل إجهاد ناتج عن فتل أو قص يُؤخذ A=0.6

٩

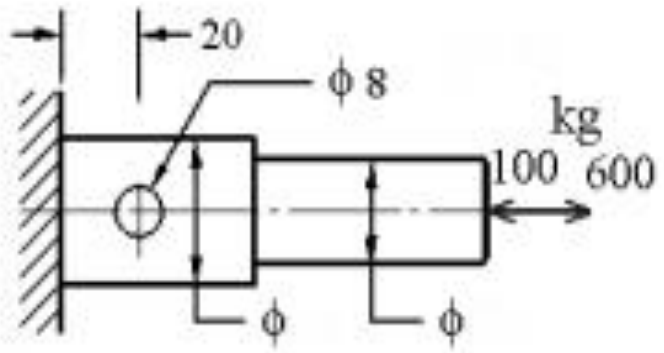
محور موثوق متدرّج المقطع يخضع لتأثير قوّة محوريّة متغيّرة كما هو مبيّن في الشكل والمطلوب:

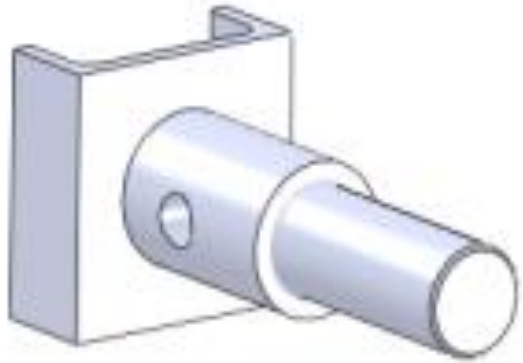
1- رسم مخطط تغير الحمولة مع الزمن

2- حساب قطر المحور في جزئيه؟ معطيات مادّة المحور: St_{42} $\sigma_y=0.7\sigma_u$ $S'_{nr}=0.5\sigma_u$ $f.s=2.5$

جداء عوامل تعديل حد التعب عند مقطع تغير القطر 0.8.

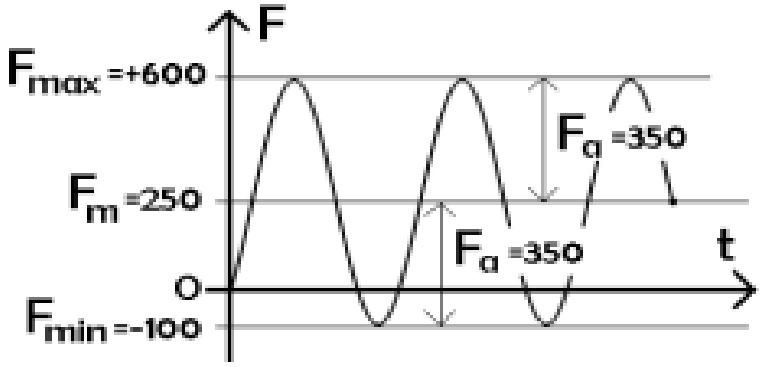
جداء عوامل تعديل حد التعب عند مقطع وجود الثقب 0.54.





ملاحظة: يتم تحديد القيمة العظمى والصغرى للحمولة كما يلي:

القيمة العظمى هي الحد ذو القيمة الأكبر وإشارته موجبة دوماً أما القيمة الصغرى فهي الحد ذو القيمة الأصغر وإشارته موجبة إذا وافق الحد الأكبر بالاتجاه وسالبة إذا عاكس الحد الأكبر بالاتجاه.



-1

2- تصميم الجزء AB : يتوضّع المقطع الخطر عند التغيّر الفجائي في المقطع ويخضع لقوّة محوريّة متغيّرة:

$$F_{max} = +600 \qquad F_{min} = -100$$

نصمم وفق معادلة سودربرغ:

$$\sigma_m + \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y}{A \cdot S_{nr}} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\sigma_y = 0.7\sigma_u = 0.7 \times 42 = 29.4\,\text{kg/mm}^2$$

$$A = 0.7$$

$$S'_{nr} = 0.5\sigma_u = 0.5 \times 42 = 21 \Rightarrow S_{nr} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g \cdot S'_{nr} = 0.8 \times 21 = 16.8\,\text{kg/mm}^2$$

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} = \frac{600 + (-100)}{2} = 250\ \text{kg} \Rightarrow \sigma_m = \frac{4F_m}{\pi\, d^2} = \frac{4 \times 250}{\pi\, d^2}$$

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = \frac{600 - (-100)}{2} = 350\ \text{kg} \Rightarrow \sigma_a = \frac{4F_a}{\pi\, d^2} = \frac{4 \times 350}{\pi\, d^2}$$

نعوّض في معادلة سودربرغ:

$$\frac{4 \times 250}{\pi \cdot d^2} + \frac{4 \times 350 \times 29.4}{\pi \cdot d^2 \times 0.7 \times 16.8} = \frac{29.4}{2.5} \Rightarrow d = 11\ mm$$

2- تصميم الجزء CD : يتوضّع المقطع الخطر عند مقطع وجود الثقب ويخضع لقوّة محوريّة متغيّرة:

$$F_{\max} = +600, \qquad F_{\min} = -100$$

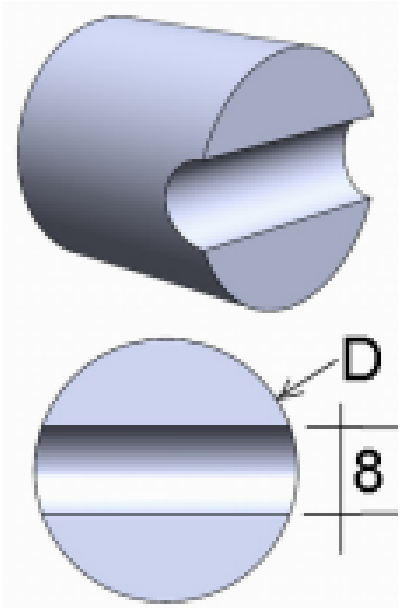
نصمم وفق معادلة سودربرغ:

$$\sigma_m + \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y}{A \cdot S_{nr}} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\sigma_y = 0.7\sigma_u = 0.7 \times 42 = 29.4\,\text{kg/mm}^2$$

$$A = 0.7$$

$$S'_{nr} = 0.5\sigma_u = 0.5 \times 42 = 21 \Rightarrow S_{nr} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g \cdot S'_{nr} = 0.54 \times 21 = 11.34\,\text{kg/mm}^2$$



$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} = \frac{600 + (-100)}{2} = 250\text{kg} \Rightarrow \sigma_m = \frac{F_m}{Area} = \frac{250}{\frac{\pi D^2}{4} - 8D}$$

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = \frac{600 - (-100)}{2} = 350\text{kg} \Rightarrow \sigma_a = \frac{F_a}{Area} = \frac{350}{\frac{\pi D^2}{4} - 8D}$$

نعوّض في معادلة سودربرغ:

$$\frac{250}{\left(\frac{\pi D^2}{4} - 8D\right)29.4} + \frac{350}{\left(\frac{\pi D^2}{4} - 8D\right) \times 0.7 \times 11.3} = \frac{1}{2.5} \Rightarrow D = 18.07\text{ mm}$$

المراجع

AARON.D(Machine Design theory and practice) Macmillan publishing CO New- York

M.F SPOTTS (Design of Machine Elements) prentice Hall India Pvt Limeted

Winkler,J.:Festkoerperbeanspruchung.Fachbuchverlag Leipzig1985

Scheuermann,G.: Verbindungselemente Fachbuchverlag Leipzig1966

Rothbart.H.A.:Mechanical Design and Systems.Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY New York 1964

Moisseif,L.S.,E.F. Hartmannand R.L. Moor: Riveted and Pin-connected Joints of Steel and Aluminum Alloys>ASCE vol.109 1944.

Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.

المراجع

- Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.
- Belyaev, N. M: Strength of Materials,., Moscow1979.
- Shigley, J. E., Theory of Machines McGraw-Hill Book Company, 1990.
- G James H. Earle Graphics for Engineers, , 5 th ed., Prentice-Hall, UK, 1998
- ديناميك الالات الدكتور محمد نجيب عبد الواحد منشورات جامعة حلب ١٩٩٠٩
- تصميم الالات (1) الدكتورعلاء سيد باكير والمشرف على الأعمال محمد البكار جامعة حلب ٢٠١١
- د.زهير طحان تصميم الالات منشورات جامعة حلب
- دوبروفسكي و اخرون تصميم أجزاء الماكينات دار مير للنشر و الطباعة ١٩٧٩
- ستوبين مقاومة المواد دار مير للنشر والطباعة ١٩٨٧
- تصميم الالات الدكتور نوفل الأحمد منشورات جامعة تشرين ١٩٩٩
- تصميم الالات (١) الدكتور مفيد موقع منشورات جامعة حلب ١٩٩٧